Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

LE BENZÈNE

Canada

Février 1984

85-0079/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE BENZÈNE

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES
DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

OTTAWA
FÉVRIER 1984
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par le Service des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Benzene
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

Imprimé
par le ministère des Approvisionnements et Services
N° de catalogue: EN 48-10/1-1984F
ISBN 0-662-92603x

©
Ministre des Approvisionnements et Services
1984

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne de fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	IV
	Remerciements	IV
	Liste des figures	VIII
	Liste des tableaux	VIII
	Abréviations et symboles	IX
	Définitions	X
	Sigles	XI
1	**Résumé**	
1.1	Benzène (C_6H_6)	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	
3	**Production, transport et commerce**	
3.1	Qualités et titres du produit	11
3.2	Fabricants au Canada	11
3.3	Autres fournisseurs	11
3.4	Principaux itinéraires utilisés pour le transport	11
3.5	Volume de production	11
3.6	Projets	12
3.7	Technique de production	12
3.7.1	Information générale	12
3.7.2	Procédés de production	12
3.8	Principales utilisations au Canada	12
3.9	Principaux acheteurs au Canada	12
4	**Manutention du produit et compatibilité**	
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	13
4.1.1	Transport en vrac	13
4.1.1.1	Wagons-citernes	13
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	16
4.1.2	Transport en fûts	17
4.2	Déchargement	17
4.2.1	Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes	17
4.2.2	Matériaux de fabrication des organes de déchargement et spécifications	18
4.3	Compatibilité entre le benzène et certains matériaux	19
5	**Fuite et migration du produit**	
5.1	Aperçu général	22
5.2	Fuite du produit	22
5.2.1	Introduction	22
5.2.2	Nomogrammes relatifs aux fuites	23
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps	23
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps d'écoulement	23
5.2.3	Exemples de calcul	23
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	25
5.3.1	Introduction	25
5.3.2	Nomogrammes de diffusion du panache de vapeurs	25
5.3.2.1	Débit d'émission de vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température	25
5.3.2.2	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	29
5.3.2.3	Demi-largeur maximale du panache dangereux	31
5.3.2.4	Distance parcourue par le panache, en fonction du temps écoulé	31
5.3.3	Étapes du calcul	31
5.4	Comportement dans l'eau	38
5.4.1	Introduction	38

5.4.2	Nomogrammes de l'étalement en eau calme	38
5.4.3	Exemples de calcul	39
5.5	Comportement dans la subsurface: migration dans le sol	39
5.5.1	Mécanismes	39
5.5.2	Équations décrivant le mouvement du benzène dans le sol	40
5.5.3	Coefficient de perméabilité du benzène en sol saturé	40
5.5.4	Sols	42
5.5.5	Nomogrammes de migration	42
5.5.6	Exemple de calcul	47
6	**Protection de l'environnement**	
6.1	Limites maximales admissibles	48
6.1.1	Qualité de l'eau	48
6.1.2	Qualité de l'air	48
6.1.2.1	Situation au Canada	48
6.1.2.2	Autres milieux	48
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	48
6.2.1	Évaluation de la toxicité en Ontario	48
6.2.2	Évaluation de la toxicité aux États-Unis	48
6.2.3	Mesures de la toxicité	48
6.2.3.1	Toxicité en eau douce	48
6.2.3.2	Toxicité en eau salée	49
6.3	Toxicité pour d'autres organismes	50
6.3.1	Toxicité pour les insectes	50
6.3.2	Toxicité pour le bétail	50
6.4	Autres aspects de la toxicité dans l'air et sur le sol	50
6.4.1	Toxicité	50
6.4.2	Études	51
6.5	Études des effets	51
6.5.1	Organismes aquatiques	51
6.5.2	Animaux	51
6.6	Dégradation	51
6.6.1	Dégradation biologique	51
6.6.2	Demande chimique en oxygène	51
6.6.3	Demande biologique en oxygène	52
6.7	Devenir et effets à long terme	52
6.7.1	Bioaccumulation potentielle	52
6.7.2	Études	52
6.8	Effets sur le sol	52
6.8.1	Dégradation du benzène dans le sol	52
7	**Protection de la santé**	
7.1	Normes d'exposition recommandées	53
7.1.1	Indice de toxicité par inhalation	54
7.2	Données sur les effets toxiques	54
7.2.1	Contact avec la peau	54
7.2.2	Contact avec les yeux	55
7.3	Seuil de perception des caractères organoleptiques	55
7.3.1	Odeur	55
7.3.2	Goût	55
7.4	Études à long terme	56
7.4.1	Inhalation	56
7.4.2	Ingestion	61
7.4.3	Voie sous-cutanée	62
7.4.4	Voie intrapéritonéale	64
7.4.5	Cancérogénicité, mutagénicité et tératogénicité	64
7.5	Symptômes	65
7.5.1	Inhalation	65
7.5.2	Ingestion	66

7.5.3 Contact avec la peau 66
7.5.4 Contact avec les yeux 66
7.6 Toxicité des produits de filiation ou de combustion pour l'homme 67
7.6.1 Monoxyde et dioxyde de carbone 67

8 Compatibilité chimique
8.1 Compatibilité entre le benzène et divers produits chimiques 68

9 Mesures d'intervention et de sécurité
9.1 Mesures recommandées 70
9.1.1 Risques d'incendie 70
9.1.2 Moyens d'extinction 70
9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement accidentel 70
9.1.3.1 Information générale 70
9.1.3.2 Déversements sur le sol 70
9.1.3.3 Déversements dans l'eau 71
9.1.4 Nettoyage et traitement 71
9.1.4.1 Déversements sur le sol 71
9.1.4.2 Déversements dans l'eau 71
9.1.4.3 Information générale 71
9.1.5 Élimination du polluant 72
9.1.6 Données relatives à la filtration sur charbon 72
9.1.7 Mesures de protection 73
9.1.8 Précautions spéciales 74
9.2 Équipements, matériel et techniques spécialisés d'intervention 74

10 Cas de déversements accidentels

11 Identification et dosage des polluants
11.1 Dosage du polluant présent dans l'air 76
11.1.1 Chromatographie en phase gazeuse 76
11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative) 77
11.3 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyses quantitatives) 77
11.3.1 Chromatographie en phase gazeuse 77
11.3.2 Spectroscopie de l'infrarouge 78
11.3.3 Gravimétrie 78
11.4 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative) 78
11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyses quantitatives) 79
11.5.1 Chromatographie en phase gazeuse 79
11.5.2 Spectroscopie de l'infrarouge 79
11.5.3 Gravimétrie 79
11.6 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative) 79

12 Références et bibliographie
12.1 Références 81
12.2 Bibliographie 88

LISTE DES FIGURES

1 Tension de la vapeur en fonction de la température 8
2 Masse volumique du liquide en fonction de la température 8
3 Masse volumique de la vapeur en fonction de la température 9
4 Viscosité du liquide en fonction de la température 9
5 Viscosité de la vapeur du benzène en fonction de la température 10
6 Diagramme de phase 10
7 Wagon-citerne – Classe 111A60W1 14
8 Fûts typiques 15
9 Rupture de la paroi inférieure d'un wagon-citerne 23
10 Pourcentage de liquide restant/temps d'écoulement 24
11 Débit de fuite/temps d'écoulement 24
12 Formation d'un panache de vapeurs 26
13 Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse 27
14 Débit d'émission de vapeurs à différentes températures, en fonction du rayon de la nappe 28
15 Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent 30
16 Conversion de la TLV (ppm à g/m^3) 32
17 Conversion de la L.I.I. (% de volume à g/m^3) 33
18 Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé 36
19 Zone dangereuse maximale sous un vent invariable 38
20 Zone dangereuse maximale sous un vent variable 38
21 Rayon maximal de la nappe en fonction du volume déversé 39
22 Migration dans le sol 41
23 Plan d'utilisation des nomogrammes 43
24 Migration dans du sable grossier 44
25 Migration dans du sable limoneux 45
26 Migration dans un till argileux 46

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de conversion 7
2 Spécifications relatives aux wagons-citernes 13
3 Spécifications relatives aux wagons-citernes – Classe 111A60W1 16
4 Fûts 17
5 Compatibilité entre le benzène et certains matériaux 20
6 Deux catégories de conditions (météorologiques) de stabilité 29
7 Demi-largeurs maximales du panache dangereux 34

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
c.f.	Coupelle fermée
CGP	Chromatographie sur gel perméable
c.o.	Coupelle ouverte
COT	Carbone organique total
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique médian massique
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre médian massique
DMV	Diamètre moyen volumique
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
J	jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
max.	Maximum
méq/l	Milliéquivalent par litre
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$Temp_c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
TL 50	Teneur létale moyenne
TLV ®	*Threshold Limit Value*
TLV ®C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
vol.	Volume
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
φ	Diamètre
x	Distance sous le vent
~~W~~	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide» . Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bio-concentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health*). – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons, Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

PEL (*Permissible Exposure Limit*). – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). –Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité

pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou ou les personnes. Abrév. DT min.

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

TLV® (*Threshold Limit Value*). – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C (*Threshold Limit Value-Ceiling*). – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)

1 RÉSUMÉ

1.1 Benzène (C_6H_6)

Le benzène se présente comme un liquide incolore, dégageant une odeur semblable à celle de l'essence.

Synonymes
Benzole, benzol, phène, benzin, benzine, benzoline, bicarburet d'hydrogène, huile de carbone, naphta de charbon, cyclohexatriène, benzène de nitration, phénylhydrure pyrobenzol.

N°s d'identification
UN 1114; STCC 4908110; CAS 71-43-2; OHM-TADS 7616601.

Qualités et titres
Qualité de nitration; titre > 99 p. 100

Dangers immédiats
Incendie. – Le benzène est inflammable. S'il y a contact entre les vapeurs de benzène et l'air, il peut y avoir formation de mélanges explosifs. Un retour de flamme peut se produire le long de la traînée de vapeurs.
Effet sur l'homme. – Le benzène est toxique lorsqu'il y a inhalation, ingestion, contact avec l'épiderme ou pénétration de l'épiderme. Il est soupçonné d'être cancérigène.
Effet sur l'environnement. – Le benzène est nocif pour les espèces du milieu aquatique, à des teneurs aussi faibles que 5 mg/l.

Données relatives aux propriétés physiques

État (15 °C; 1 atm)	Liquide
Point d'ébullition	80,1 °C
Point de fusion	5,5 °C
Inflammabilité	Inflammable
Point d'éclair	– 11 °C (coupelle fermée)
Densité relative (eau = 1)	0,879 à 20 °C
Tension de vapeur	10,1 kPa à 20 °C
Solubilité (dans l'eau)	0,18 g/100 ml à 25 °C
Comportement (dans l'eau)	Flotte, sans produire de réaction
Comportement (dans l'air)	Vapeurs formant avec l'air des mélanges explosifs
Seuil olfactif	2 à 5 ppm
Plage du seuil olfactif	0,16 à 65 ppm

Dangers pour l'environnement
Le benzène est toxique pour les espèces aquatiques. Il constitue un risque pour les oiseaux aquatiques et les animaux marins.
Les benzène peut s'accumuler dans les organismes vivants, mais il ne présente aucun danger de concentration le long de la chaîne alimentaire. Il y a un cycle du benzène entre l'atmosphère et l'eau.

Dangers pour l'homme
Teneur maximale admissible établie par l'ACGIH (TLV ®): 10 ppm (30 mg/m^3) épiderme.
Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé: 2000 ppm.

Cancérogène

Effets en cas d'inhalation. – L'inhalation provoque des maux de tête, de la confusion, des nausées, des difficultés respiratoires, le collapsus, la bronchite et la pneumonie. Les effets sont cumulatifs.

Effets en cas de contact. – Le contact prolongé avec l'épiderme provoque des irritations et les mêmes symptômes que l'inhalation. Le contact avec les yeux du benzène liquide ou des vapeurs de benzène concentrées provoquent des irritations.

Dispositions immédiates à prendre

• En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler: «Inflammable». Appeler les pompiers. Prévenir le fabricant. Éliminer les causes possibles d'inflammation, dont les véhicules automobiles et appareils divers. Arrêter l'écoulement et confiner la nappe de liquide, si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact avec le liquide et la vapeur qu'il dégage. Se tenir face au vent, la nappe, derrière soi. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

• En cas d'incendie

Ne pas tenter d'éteindre les flammes s'il n'est pas possible d'arrêter l'écoulement. Utiliser de la mousse, des poudres sèches ou du bioxyde de carbone si l'on décide d'éteindre les flammes. Refroidir avec de l'eau les contenants exposés aux flammes. Se tenir éloigné des extrémités des citernes.

Mesures d'intervention d'urgence

• Benzène dans ou sur le sol.

Construire des barrages pour confiner la nappe ou la diriger vers des surfaces imperméables. Enlever le produit au moyen de pompes ou d'appareils aspirateurs. Absorber ce qui reste à l'aide de sciure de bois, de sable ou de sorbants synthétiques; ramasser le tout à la pelle et le placer dans des contenants qui peuvent être fermés.

• Benzène dans ou sur l'eau

Confiner la nappe au moyen de barrages ou d'obstacles naturels ou par déviation du cours d'eau. Utiliser des appareils d'écrémage pour enlever le produit, puis appliquer des sorbants. L'équipement utilisé doit pouvoir résister aux explosions.

• Benzène dans l'air

Utiliser un jet d'eau pour rabattre les vapeurs au sol et pour les disperser. Confiner l'eau de ruissellement afin de pouvoir l'épurer ou l'enlever par la suite.

Niveau de gravité du risque selon la NAS (étatsunienne)

(Catégorie)	(Niveau)
Incendie	3
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	1
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	1
Intoxications	3
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	1
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2

Réactivité

Autres produits chimiques 1
Eau 0
Réaction spontanée 0

Évaluation du risque selon la NFPA (étatsunienne)

Inflammabilité

Santé

Réactivité

Champ inférieur vide : utiliser
l'eau comme moyen d'extinction

2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Propriétés physiques	
Aspect	Liquide incolore (DOW ERIS*, 1981)
État à l'expédition	Liquide, à des températures supérieures à 10 °C (DOW ERIS, 1981)
État physique (15 °C; 1 atm)	Liquide (DOW ERIS, 1981)
Point de fusion	5,53 °C (Cheremisinoff, 1979)
Point d'ébullition	80,1 °C (Cheremisinoff, 1979)
Tension de vapeur	13,33 kPa (26 °C) (Kirk-Othmer, 1978) 10,0 kPa (20 °C) (Cheremisinoff, 1979)
Densités	
Masse volumique du liquide	873,7 kg/m^3 (−4 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Densité relative du liquide	0,879 (20 °C/20 °C) (Cheremisinoff, 1979)
Densité relative de la vapeur	4,0 (90 °C) (Cheremisinoff, 1979) 2,77 (20 °C) (Verschueren, 1977)
Propriétés relatives à la combustion	
Inflammabilité	Liquide inflammable (NFPA, 1978)
Point d'éclair	− 11 °C (NFPA, 1978)
Température d'inflammation spontanée	498 °C (NFPA, 1978)
Vitesse de combustion	6,0 mm/min (CHRIS, 1978)
Limite supérieure d'inflammabilité	7,1 p. 100 (NFPA, 1978)
Limite inférieure d'inflammabilité	1,3 p. 100 (NFPA, 1978)
Vitesse de propagation des flammes	0,40 m/s (maximum) (Cheremisinoff, 1979)
Caractéristiques de la combustion	Les vapeurs produisent une flamme fumeuse (CCD, 1977)
Chaleur de combustion	41,8 kJ/g (25 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Produits de la combustion	Eau, dioxyde de carbone et monoxyde de carbone
Risque de retour de flamme	Les vapeurs peuvent parcourir une distance considérable jusqu'à une source d'allumage et provoquer un retour de flamme (NFPA, 1978)
Explosibilité	Les vapeurs forment avec l'air des mélanges explosifs de 1,3 à 7,1 p. 100 (NFPA, 1978)
Risque d'allumage électrique	Peut s'enflammer à la suite d'une décharge d'électricité statique
Autres propriétés	
Masse moléculaire de la substance pure	78,12 (CRC, 1978)
Composition caractéristique de la qualité commerciale	99 p. 100 de benzène 0,1 p. 100 de toluène 0,5 p. 100 d'hydrocarbures non aromatiques (TEXACO, MSDS)

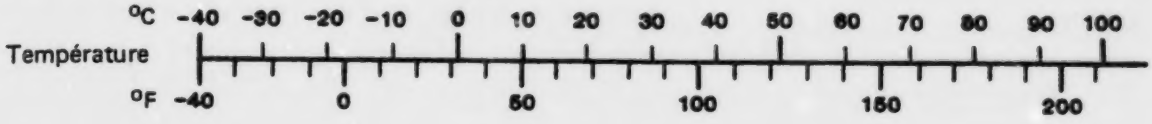
* Pour l'explication des abréviations et des sigles, voir la liste des abréviations dans les pages préliminaires et la liste des références à la fin du guide.

Explosibilité	Les vapeurs forment avec l'air des mélanges explosifs de 1,3 à 7,1 p. 100 (NFPA, 1978)
Risque d'allumage électrique	Peut s'enflammer à la suite d'une décharge d'électricité statique
Autres propriétés	
Masse moléculaire de la substance pure	78,12 (CRC, 1978)
Composition caractéristique de la qualité commerciale	99 p. 100 de benzène 0,1 p. 100 de toluène 0,5 p. 100 d'hydrocarbures non aromatiques (TEXACO, MSDS)
Indice de réfraction	1,5011 (CRC, 1980)
Viscosité	0,6468 mPa·s (20 °C) (Cheremisinoff, 1979)
Tension interfaciale avec l'air	28,12 mN/m (25 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Tension interfaciale avec l'eau	35 mN/m (20 °C) (CRC, 1980)
Hygroscopicité	Maximum d'humidité absorbée inférieur à 0,1 p. 100 (MCA, 1960)
Chaleur latente de fusion	9,850 kJ/kg · mol (5,5 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Chaleur latente de sublimation	33,8 kJ/mol (25 °C) (Lange's Handbook, 1979)
Chaleur lente de vaporisation	33,87 kJ/kg · mol (80,1 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Chaleur de formation	49,0 kJ/mol (25 °C) (Sussex, 1977)
Potentiel d'ionisation	9,25 eV (Rosenstock, 1977)
Capacité thermique massique*	
à pression constante	135 J/g mol · °C (25 °C) (CRC, 1980)
à volume constant	125 J/g mol · °C (25 °C) (CRC, 1980) (CHRIS, 1978)
Pression critique	4924 kPa (Kirk-Othmer, 1978)
Température critique	289,45 °C (Cheremisinoff, 1979)
Coefficient de dilatation thermique (volume)	$1{,}237 \times 10^{-3}$/°C (20 °C) (Lange's Handbook, 1979)
Conductivité thermique	0,139 W/m · K (12 °C) (Lange's Handbook)
Teneur de saturation	319 g/m^3 (20 °C) (Verschueren, 1977) 485 g/m^3 (30 °C) (Verschueren, 1977)
Diffusivité (des vapeurs)	0,77 cm^{2}s (0 °C) (Perry, 1973)
Taux d'évaporation	0,75 g/m^2 · s (20 °C) (CHRIS, 1974) 2,3 g/m^2 · s (20 °C) (voir section 5.3.2)
Log 10 du coefficient de partage octanol/eau	2,14 (Cheremisinoff, 1979)
Solubilité	
dans l'eau	0,18 g/100 g (25 °C) (Kirk-Othmer, 1978)

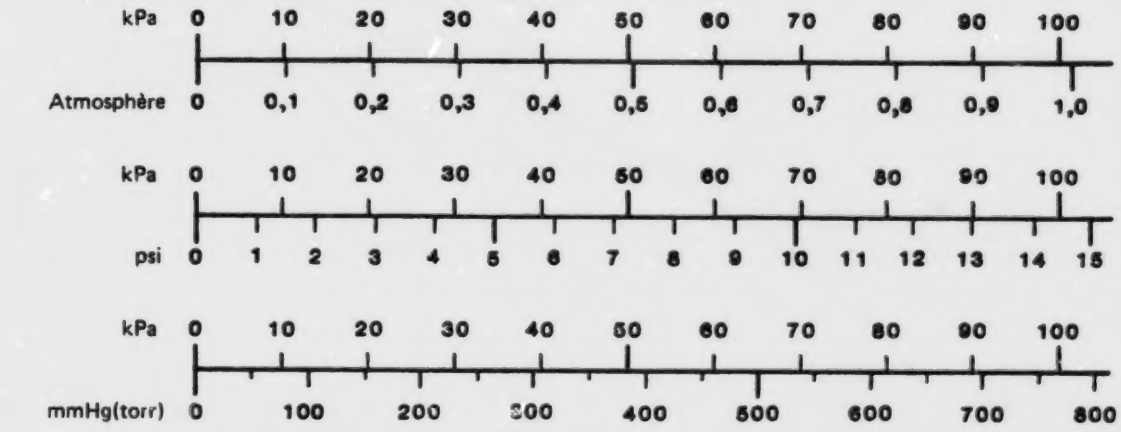
* La chaleur massique ou chaleur spécifique est numériquement équivalente à la capacité thermique massique

dans d'autres substances courantes	Miscible dans l'éthanol, dans le diéthyléther, dans l'acétone, dans l'acide acétique et dans le chloroforme (CRC, 1980). Miscible dans le chlorure de carbone, le disulfure de carbone et le toluène (Kirk-Othmer, 1978)
Facteur de conversion du volume en poids de la vapeur	1 ppm = 3,242 mg/m^3 (20 °C) (Verschueren, 1977)

BENZÈNE — **NOMOGRAMMES DE CONVERSION**



Pression 1 kPa = 1 000 Pa



Viscosité

Dynamique 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cP)

Cinématique 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)

1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) 1 kJ = 1 000 J

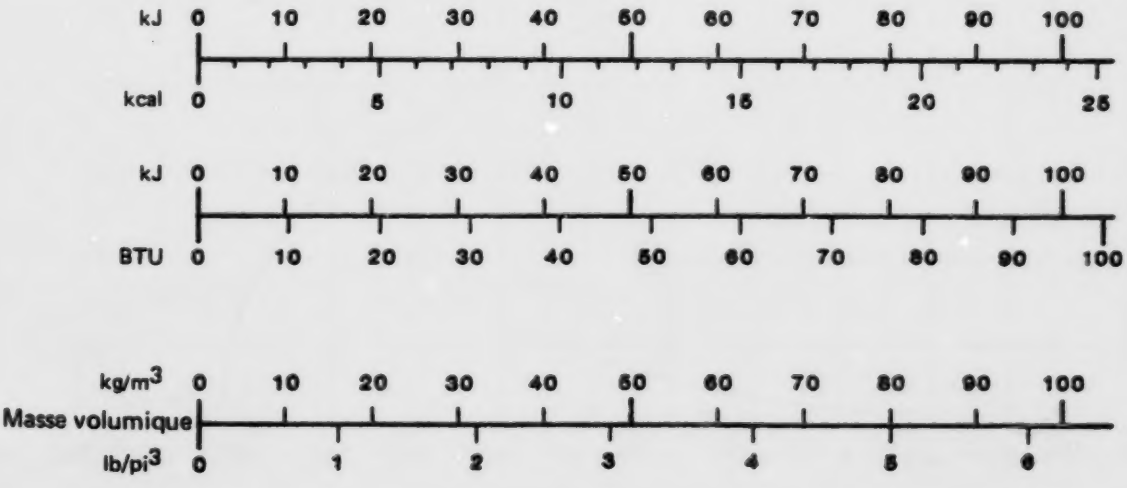


Figure 1

BENZÈNE — **TENSION DE LA VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

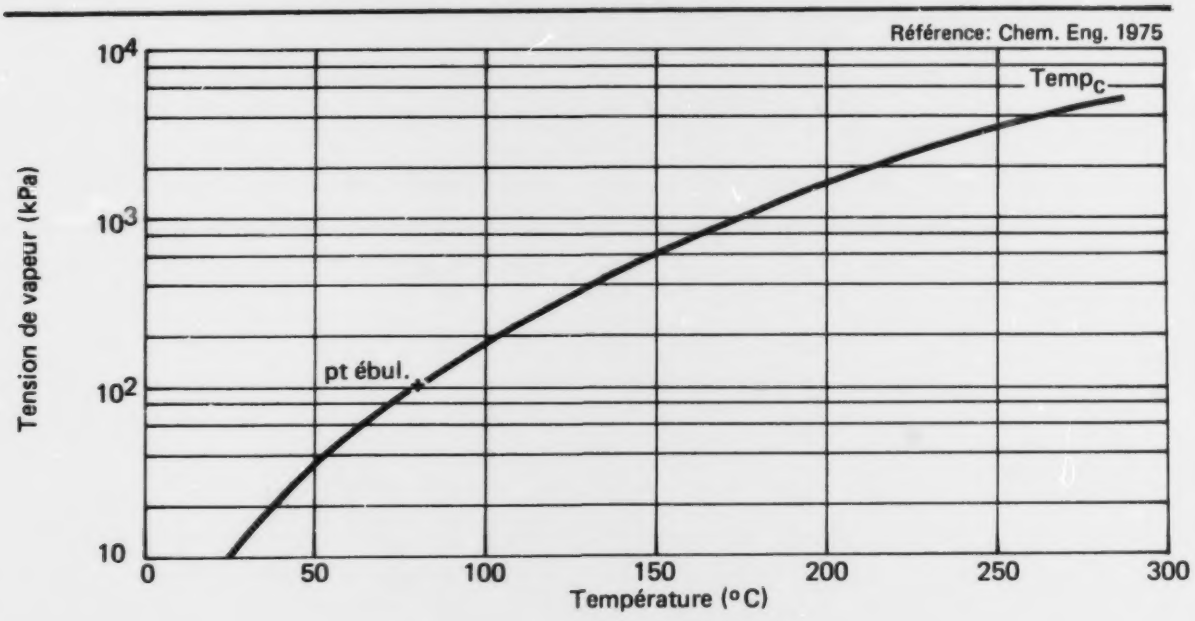


Figure 2

BENZÈNE — **MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

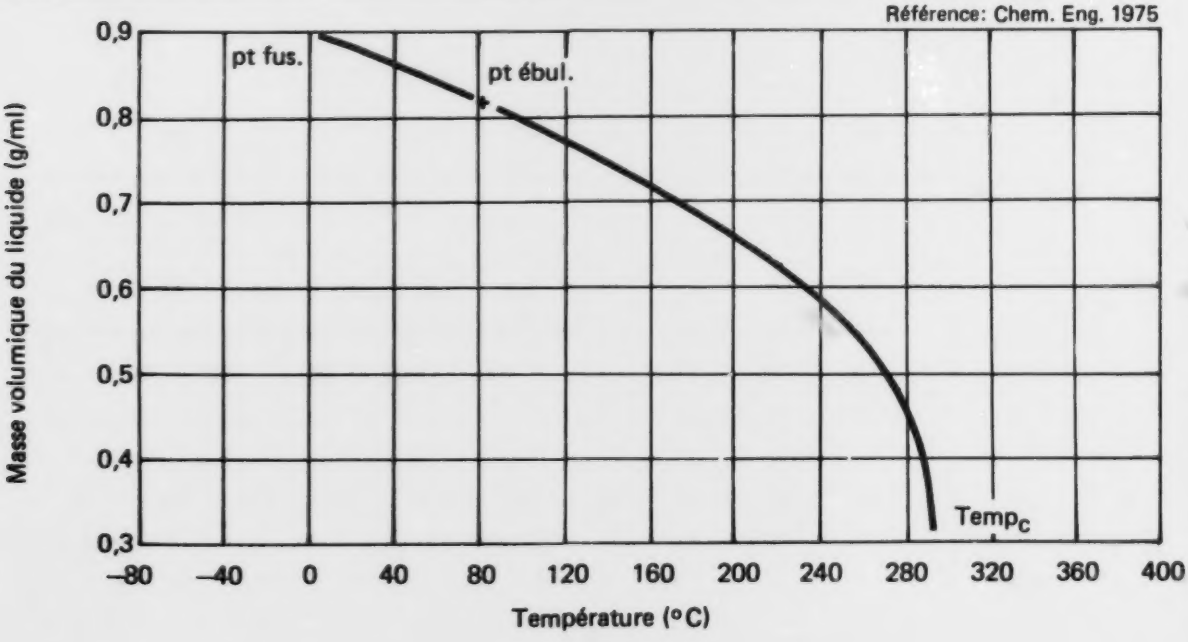


Figure 3

BENZÈNE — **MASSE VOLUMIQUE DE LA VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

Référence: CHRIS 1978

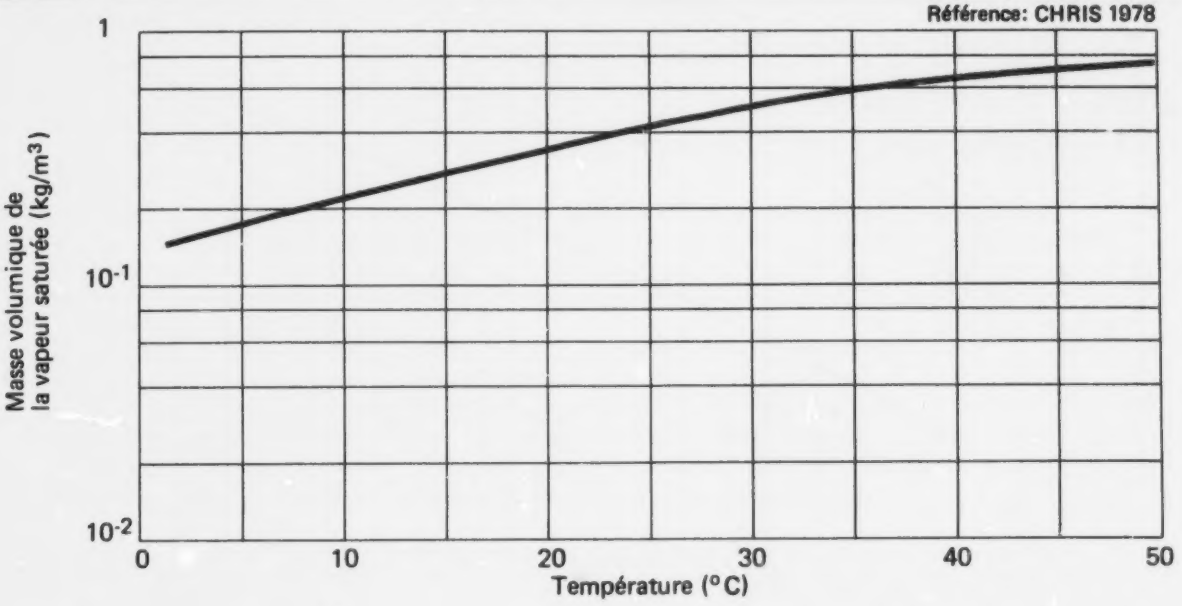


Figure 4

BENZÈNE — **VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

Référence: Chem. Eng. 1975

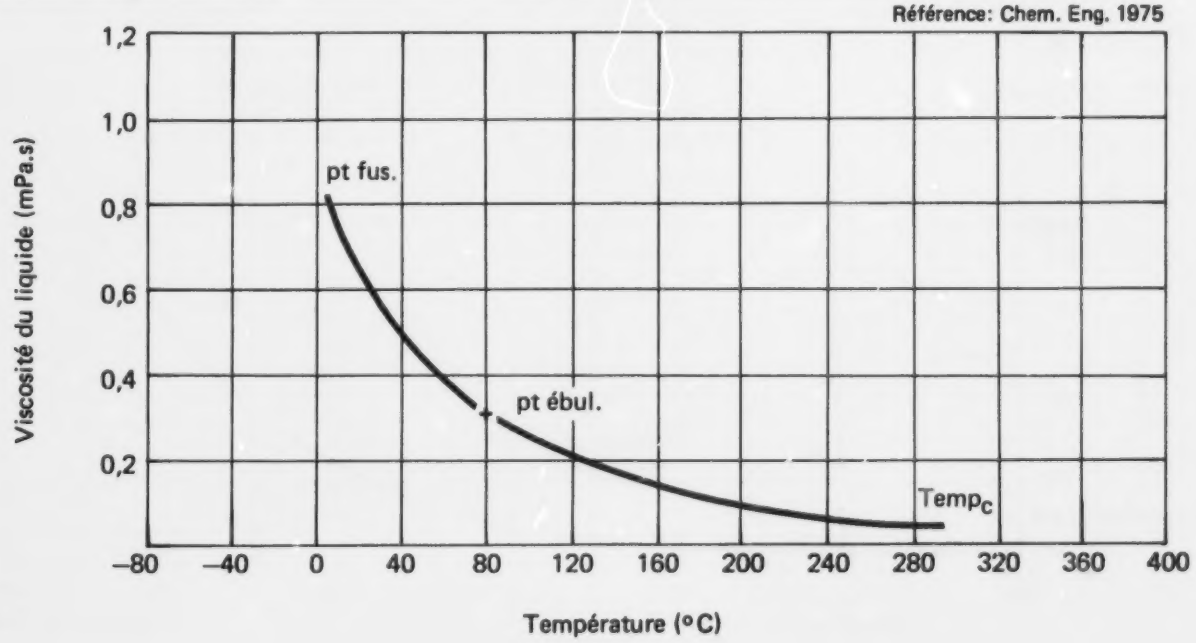


Figure 5

BENZÈNE — **VISCOSITÉ DE LA VAPEUR DU BENZÈNE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE**

Référence: Chem. Eng. 1975

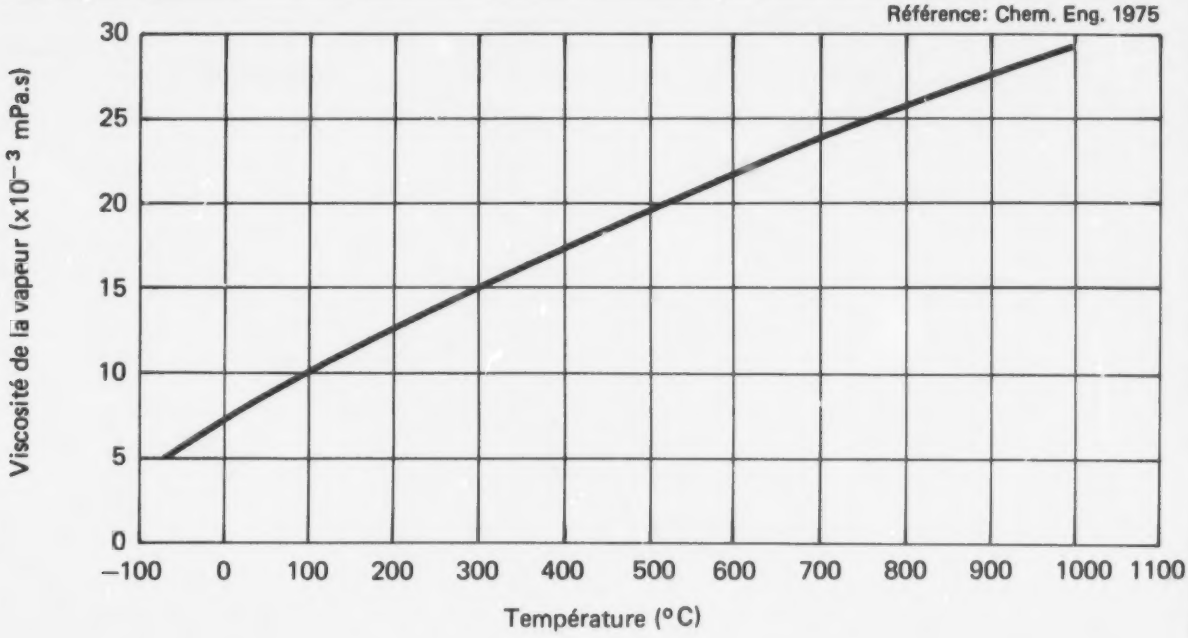
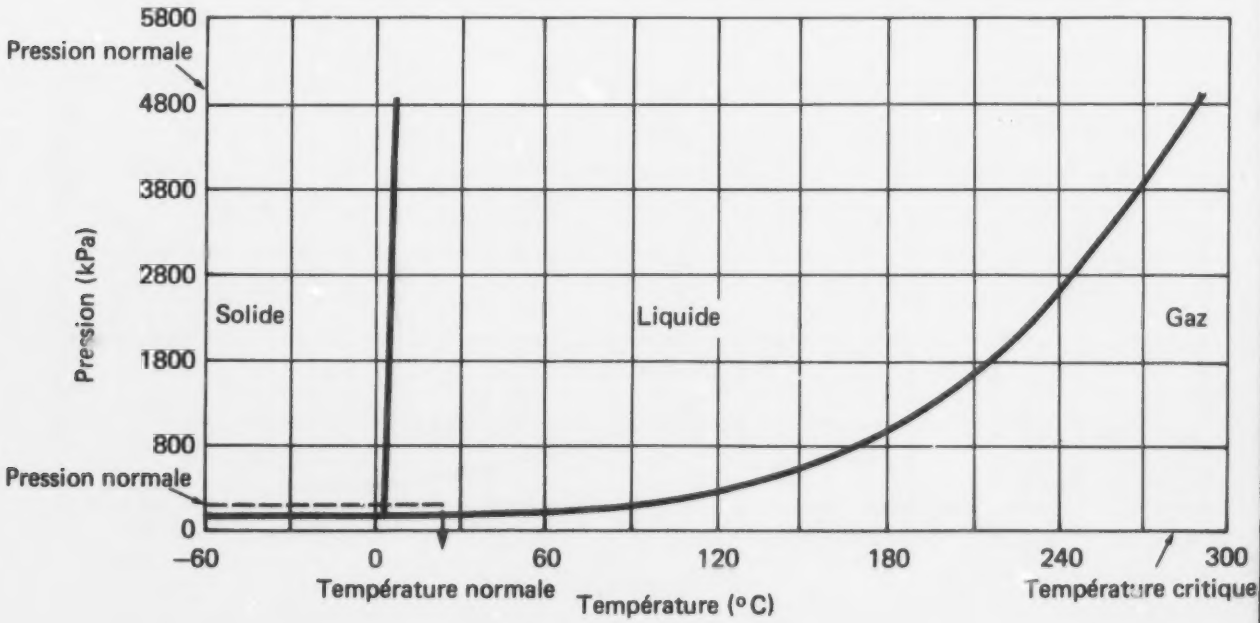


Figure 6

BENZÈNE — **DIAGRAMME DE PHASE**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres du produit
(Corpus, 1982; Finachem, ASPI, 1979)

Le benzène est vendu à la qualité de nitration (min. 99,0 p. 100)

3.2 Fabricants au Canada
(Corpus, 1982; CBG, 1980; CCPA, 1981)

Les adresses qui suivent sont celles des sièges sociaux et ne peuvent donc pas servir comme recours en cas de déversement.

Esso Chemical Canada, 2300 Yonge Street, Toronto, Ontario, M5W 1K3, (416) 488-6600
Finachem Canada Inc., 1 Place Ville-Marie, Montréal, Québec, H3B 4A9, (514) 866-3911, (514) 866-2094
Gulf Canada Products Co. Div. of Gulf Canada Ltd., 800 Bay Street, Toronto, Ontario, M5S 1Y8, (416) 924-4141
Petrosar Ltd., 785 Hill Street P.O. Box 7000, Corunna, Ontario, N0N 1G0, (519) 862-2911
Polysar Limited, 201 Front Street North, Sarnia, Ontario, N7T 7V1, (519) 332-1212
Shell Canada Ltd., 505 University Avenue, Toronto, Ontario, M5G 1X4, (416) 866-7111
Sunchem Division of Sunoco Inc., 56 Wellesley Street West, Toronto, Ontario, M5S 2S4, (416) 924-4111
Texaco Canada Inc., 90 Wynford Drive, Don Mills, Ontario, M3C 1K4, (416) 443-7811

3.3 Autres fournisseurs
(Corpus, 1982; CBG, 1981)

United States Steel International of Canada Ltd., 7 King Street East, Toronto, Ontario, M5C 1A8, (416) 364-6291

3.4 Principaux itinéraires utilisés pour le transport

Actuellement, tout le benzène produit au Canada provient de l'Ontario et du Québec. Les plus grandes installations de production sont situées à Sarnia (Ontario) et à Montréal (Québec). Le marché est également situé en Ontario et au Québec.

3.5 Volume de production
(Corpus, 1982; CCP, 1981; Finachem PDS, 1981)

Société	Emplacement	Capacité nominale kilotonnes/an (1981)
Esso Chemical Canada	Sarnia, (Ont.)	100
Pétro-Canada	Montréal (Qué.)	145
Gulf Canada	Montréal (Qué.)	119
Petrosar	Corunna (Ont.)	165
Polysar	Sarnia (Ont.)	67
Shell Canada	Corunna (Ont.)	67
Sunchem	Sarnia (Ont.)	63
Texaco Canada	Mississauga (Ont.)	20
TOTAL		746
Production nationale (1980)		566,5
Importations (1980)		3
TOTAL		569,5

3.6 Projets
(CCP, 1980; CCP, 1981; Corpus, 1982)

Texaco prévoit déplacer sa production de benzène de Mississauga à Nanticoke (Ontario) où ses installations sont plus modernes. Deux installations d'extraction/désalcoylation de benzène doivent être mises en marche avant 1985 dans les raffineries suivantes de l'Alberta: Shell/Husky à Scotford (235 kt/an) et Gulf Canada à Edmonton (98 kt/an en 1983 et 224 kt/an en 1985). La raffinerie de Gulf Canada à Montréal-Est augmentera sa production de 46 kt/an en 1983. La capacité de production totale prévue de ces trois sociétés est de 505 kt/an.

3.7 Technique de production

3.7.1 **Information générale.** – Au Canada, le benzène est produit principalement à partir de réformat de pétrole brut, par déshydrogénation ou hydrodésalcoylation de cycloparaffines substituées ou encore par désalcoylation des aromatiques substitués.

3.7.2 **Procédés de production.** – L'essence lourde produite par le craquage et le fractionnement du pétrole brut est partiellement convertie en benzène et en d'autres hydrocarbures aromatiques par exposition à des températures élevées en présence d'un catalyseur de platine. Le procédé comporte les réactions suivantes:

$C_6H_{14} \longrightarrow C_6H_6 + 4H_2$

1) (hexane)

$(CH_3)_2\ C_6H_{10} \longrightarrow C_6H_6 + 2CH_4 + H_2$

2) (diméthyl cyclohexane)

$CH_3\ C_5H_9 \longrightarrow C_6H_6 + 3H_2$

3) (méthyl cyclopentane)

Généralement, la teneur en benzène de l'essence lourde peut être comprise entre 5 et 10 p. 100. Le produit est récupéré et purifié par des procédés comme la distillation fractionnée et l'extraction par solvant.

Le benzène et le méthane peuvent être produits par réaction catalytique du toluène et de l'hydrogène:

$CH_3C_6H_5 + H_2 \longrightarrow C_6H_6 + CH_4$

toluène

Le benzène est récupéré par distillation fractionnée.

3.8 Principales utilisations au Canada
(Corpus, 1981; Finachem ASPI, 1979)

Le benzène est utilisé dans la production de l'éthylbenzène/styrène, du cumène, du cyclohexane, de l'anhydride maléique.

3.9 Principaux acheteurs au Canada
(Corpus, 1982; CBG, 1980)

Dow Chemical Canada, Inc. Sarnia (Ont.)
Pétro-Canada, Montréal (Qué.)
Gulf Canada Limitée, Montréal Est (Qué.)
Monsanto Canada Inc., La Salle (Qué.)
Polysar Ltd., Sarnia (Ont.)*
Recochem Inc., Montréal (Qué.)

* Principal acheteur, suivi de Dow Chemical (CCP, 1981).

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. – Le transport en vrac est effectué par wagons-citernes, véhicules-citernes routiers et en citernes transportables. Au Canada, d'importants volumes de benzène sont transportés par canalisations.

4.1.1.1 Wagons-citernes. – Les wagons-citernes utilisés pour le transport du benzène sont décrits au tableau 2. Le benzène est habituellement transporté dans des wagons-citernes ayant les capacités suivantes : 64 400 l (14 000 gal imp.), 75 700 l (16 700 gal imp.), 90 800 l (20 000 gal imp.) et 114 000 l (25 000 gal imp.). Un wagon-citerne de classe 111A60W1 utilisé pour le transport du benzène est illustré à la figure 7; les spécifications relatives à ce wagon-citerne sont données au tableau 3. Le déchargement se fait au moyen de pompes ou par gravité à travers des orifices de déchargement par le bas équipés de robinets à tournant placés à l'intérieur de l'orifice de déchargement (TDGC, 1980). Le benzène est généralement déchargé par le haut au moyen de pompes ou sous pression d'azote contrôlée. Lors du déchargement par le haut, le benzène passe par une tubulure de déchargement qui s'étend du bas du wagon-citerne à la plate-forme de dôme où elle se termine par un robinet de déchargement. L'air comprimé n'est jamais utilisé pour le déchargement des citernes de benzène (MCA, 1960).

Tableau 2
Spécifications relatives aux wagons-citernes

Spécification du DOT/CCT*	Description
111A60W1	Citerne en acier soudé sans dôme. Isolé ou non isolé. Creux minimal 2 %. Indicateur de niveau. Pression d'essai 414 kPa (60 psi).
111A60F1	Citerne en acier soudé sans dôme. Isolé ou non isolé. Creux minimal 2 %. Indicateur de niveau. Pression d'essai 414 kPa (60 psi).
111A100W1	Citerne en acier soudé sans dôme. Isolé ou non isolé. Creux minimal 2 %. Indicateur de niveau. Déchargement ou purge par le bas optionnels. Pression d'essai 690 kPa (100 psi).

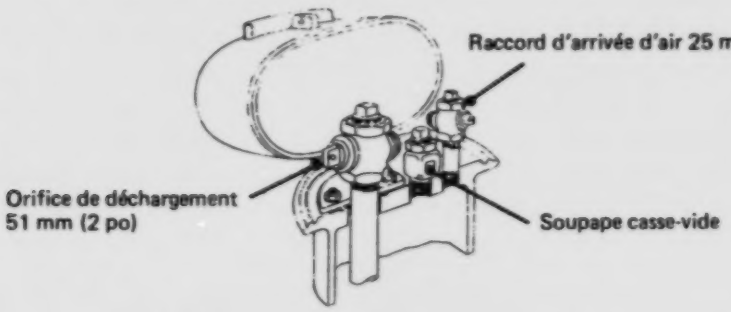
* Department of Transportation (U.S.A.)
Commission canadienne des transports

Une soupape régulatrice de pression sera réglée à 241 kPa (35 psi) pour les wagons-citernes de classe 111A60W1 et à 517 kPa (75 psi) pour les wagons-citernes de classe 111A100W1. Un indicateur de niveau du type à tige ou à ruban est optionnel. La tubulure de déchargement par le

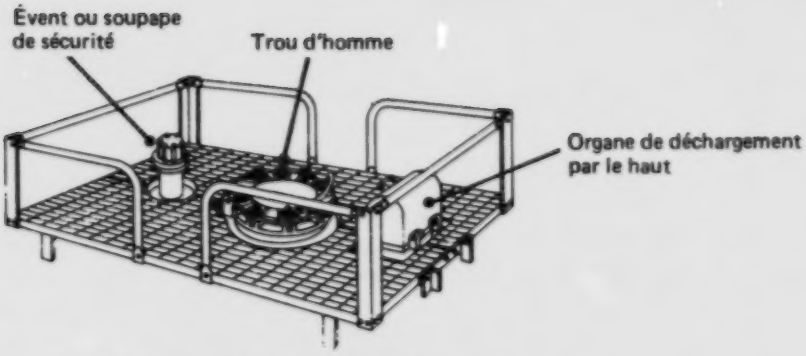
Figure 7

BENZÈNE **WAGON-CITERNE – CLASSE 111A60W1**

(Référence TCM 1979, RTDCR 1974)



Détail des organes de déchargement par le haut



Détail de la plate-forme de dôme

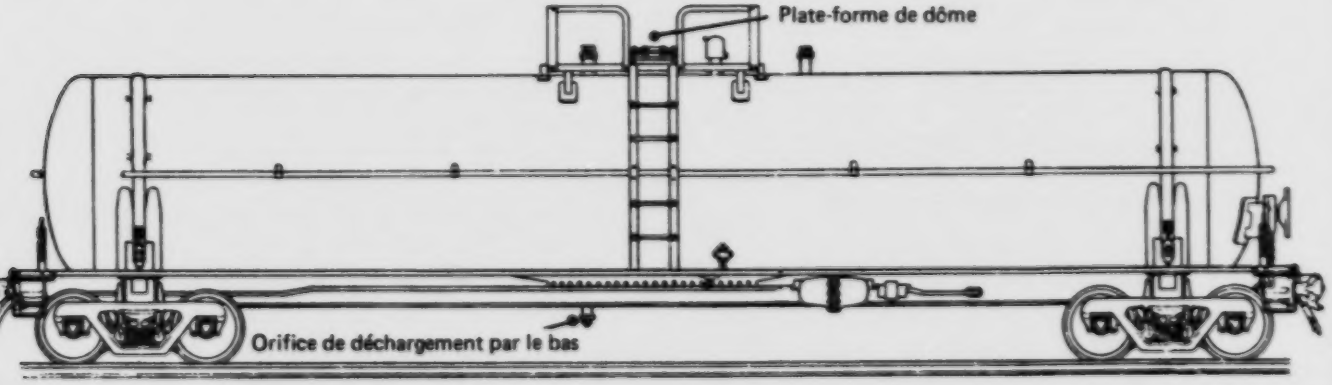
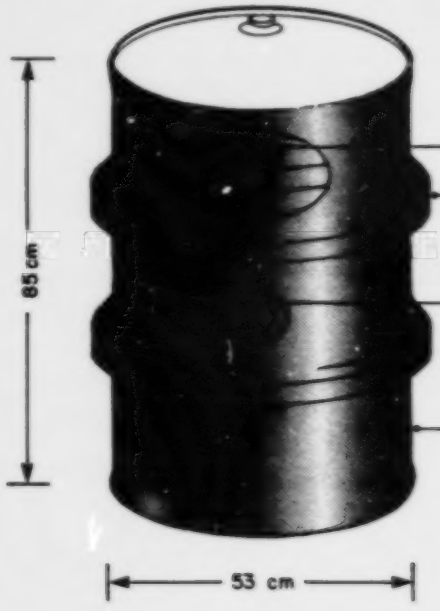


Illustration du wagon-citerne

Figure 8

BENZÈNE — **FÛTS TYPIQUES**

Fût en monel typique



Étiquette d'identification

Joncs de roulage faits de caoutchouc naturel solide et flexible

Diamètre maximal de l'orifice 59 mm

Corps et dessus fabriqués en monel de 10 mm d'épaisseur

Capacité maximale 220 l

Fût en acier typique

Revêtement intérieur de plomb minimum de 2,4 mm selon les normes de l'AIC

Étiquette d'identification

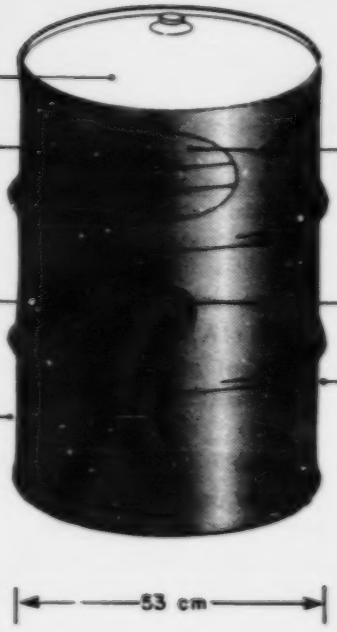
Diamètre maximal de l'orifice 70 mm

Corps et dessus fabriqués en acier laminé

Capacité maximale 250 l

Masse nette maximale 400 kg

Fût en aluminium typique



Étiquette d'identification

Diamètre maximal de l'orifice 70 mm

Corps et dessus fabriqués en aluminium pur à 99 % au moins

Capacité maximale 250 l

Masse nette maximale 400 kg

Tableau 3
Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 111A60W1
(TCM 1979, RTDCR 1974)

Description	Dimensions du wagon-citerne (gal imp)		
	16 700	17 200	20 000
Structure			
Capacité nominale	75 700 l (16 700 gal)	78 000 l (17 200 gal)	90 900 l (20 000 gal)
Tare	33 900 kg (74 700 lb)	33 900 kg (74 700 lb)	38 900 kg (85 800 lb)
Masse brute	119 000 kg (263 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Citerne			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)
Diamètre int.	2,60 m (102 po)	2,62 m (103 po)	2,74 (108 po)
Pression d'essai	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)
Pression de rupture	1 640 kPa (240 psi)	1 640 kPa (240 psi)	1 640 kPa (240 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	17 m (57 pi)	17 m (57 pi)	18 m (60 pi)
Longueur avec pylônes de choc	16 m (53 pi)	16 m (53 pi)	17 m (57 pi)
Longueur avec crapaudines	13 m (42 pi)	13 m (42 pi)	14 m (45 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2-3 m (8-10 pi)	2-3 m (8-10 pi)	2-3 m (8-10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5-2 m (5-6 pi)	1,5-2 m (5-6 pi)	1,5-2 m (5-6 pi)
Déchargement par le haut			
Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)
Trou de remplissage ou de visite	203-356 mm (8-14 po)	203-356 mm (8-14 po)	203-356 mm (8-14 po)
Raccord d'arrivée d'air	25- 51 mm (1-2 po)	25- 51 mm (1-2 po)	25- 51 mm (1-2 po)
Déchargement par le bas			
Orifice de déchargement par le bas	102-152 mm (4-6 po)	102-152 mm (4-6 po)	102-152 mm (4-6 po)
Dispositifs de sécurité	Évent ou soupape de sécurité		
Dôme	Aucun		
Isolation	Optionnel		

haut doit être protégée par un manchon de protection. La pression d'air comprimé maximale permise pour les wagons de classe DOT 111A100W1 est de 448 kPa (65 psi). Lorsque des wagons de classes 111A60W1 ou 111A60F1 sont utilisés, cette pression maximale sera de 276 kPa (40 psi) (TCM, 1979).

4.1.1.2 **Véhicules-citernes routiers.** – Le benzène est transporté dans des véhicules-citernes routiers équipés de citernes non pressurisées (TDGC, 1980). La pression de calcul de ces citernes ne dépasse pas 14 kPa (2 psi). Les véhicules-citernes routiers pour le transport du benzène sont semblables aux wagons-citernes décrits plus haut. Ces véhicules-citernes sont généralement déchargés au moyen de pompes par la tubulure de déchargement par le haut.

L'engin de déchargement et les procédés de déchargement utilisés avec les véhicules-citernes routiers sont semblables à ceux qui servent au déchargement des wagons-citernes et dont il sera question ci-après.

4.1.2 **Transport en fûts.** – Le benzène est transporté non seulement en vrac mais en fûts.

Des fûts fabriqués en divers matériaux peuvent être utilisés (TDGC, 1980). Ces fûts sont décrits au tableau 4.

Tableau 4
Fûts

Type de fût	Code de type	Description	Illustré à la figure
Acier	1A1	Dessus non amovible, réutilisable	8
	1A1A	1A1 avec rebords renforcés	8
	1A1B	1A1 avec brides de fermeture soudées	8
	1A1D	1A1 avec revêtement (autre que le plomb)	non illustré
	1A2	Dessus amovible, réutilisable	8
	1A3	Dessus non amovible, non réutilisable	8
Monel* (alliage cuivre nickel)	TC5M	Dessus non amovible	8
Aluminium	1B1	Dessus non amovible	8
	1B2	Dessus amovible	8
Fûts en acier avec récipients de plastique	6HA1	Tôle extérieure en acier en forme de fût Récipient intérieur en plastique Capacité maximale de 225 l	non illustré
Fûts en carton avec récipients de plastique	6HG1	Extérieur en carton, de fabrication convolute (plusieurs épaisseurs enroulées concentriquement). Récipient intérieur de plastique en forme de fût. Capacité maximale de 225 l.	non illustré

4.2 Déchargement

4.2.1 **Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes.** – Avant de procéder au déchargement, il importe de prendre les précautions suivantes (MCA, 1960):

– vérifier que le réservoir de stockage à évent peut recevoir le contenu du wagon-citerne;
– si le déchargement se fait la nuit, les dispositifs d'éclairage doivent être anti-déflagrants;
– le personnel ne doit en aucun cas pénétrer dans le wagon-citerne;

- les freins doivent être serrés et les roues, calées; les dérailleurs doivent être en place et les avertissements, affichés;
- un quai de service offrant toutes les conditions de sécurité doit exister au point de déchargement;
- les outils utilisés au cours du déchargement ne doivent pas produire d'étincelles;
- le wagon-citerne doit être pourvu d'une mise à la terre.

Deux modes de déchargement sont utilisés pour le benzène, soit le déchargement par le haut et le déchargement par le bas.

Pour le déchargement par le haut, suivre les étapes suivantes (MCA, 1960):

- réduire la tension de vapeur en refroidissant le wagon-citerne par ventilation ou aspersion d'eau, à intervalles rapprochés;
- après avoir retiré le manchon de protection de l'organe de déchargement situé sur le dessus du wagon, raccorder la tubulure de déchargement de 51 mm (2 po);
- décharger la citerne au moyen d'une pompe ou sous pression d'azote contrôlée.

Pour le déchargement par le bas, suivre les étapes suivantes en utilisant une pompe, ou effectuer le déchargement par gravité.

- réduire la tension interne en procédant de la façon indiquée plus haut;
- après avoir raccordé la tubulure de déchargement à un orifice situé sur la paroi inférieure de la citerne, ouvrir le robinet intérieur du bas en tournant la tige de commande située sur le dessus ou au bas du wagon-citerne;
- décharger le wagon par gravité ou au moyen d'une pompe.

4.2.2 Matériaux de fabrication des organes de déchargement et spécifications. – Les matériaux de fabrication des divers composants des organes de déchargement de même que les spécifications relatives à ces organes sont ceux qui sont généralement utilisés pour le transport du benzène. Dans certains cas, d'autres matériaux peuvent être utilisés, comme il est indiqué au tableau 5. Les composants d'un engin de déchargement typique dont il sera question comprennent les conduites et les raccords, les tuyaux flexibles, les soupapes, les garnitures et les pompes.

Les conduites et les raccords en acier allié sans soudure ASTM A106 n° 80 avec garnitures de polyéther chloré sont recommandés pour les conduites de déchargement du benzène (DCRG, 1978). Il faudra utiliser des joints à brides soudées de préférence aux conduites et aux raccords filetés qui ont tendance à fuir après un service de courte durée. La réduction de la contrainte au point de soudure permettra une plus longue durée de service. Les canalisations doivent faire l'objet d'un essai à l'air comprimé à des pressions allant de 345 à 518 kPa (50 à 75 psi) et toutes les fuites seront soigneusement colmatées. S'il y a fuite en cours de service, l'unique réparation efficace consiste soit à enlever la soudure au burin et à refaire une nouvelle soudure, soit à remplacer la section de conduite défectueuse.

La conduite de déchargement doit avoir un diamètre de 51 mm (2 po) puisque c'est la taille standard des raccords sur les wagons-citernes utilisés pour le transport du benzène, mais les autres conduites peuvent être de n'importe quelle dimension. On déconseille toutefois l'utilisation de conduites dont le diamètre est inférieur à 25 mm (1 po). L'auto-drainage est indispensable pour les conduites extérieures.

Des joints de dilatation flexibles du type à soufflet devraient être utilisés pour les sections flexibles de la tubulure de déchargement. Ils sont fabriqués en brides de fer ductile ASA avec des organes expansibles moulés en résine de tétrafluoroéthylène (DOW PPS, 1972). Certaines conduites flexibles sont constituées de raccords flexibles standard, avec l'utilisation de coudes à brides.

Les soupapes à diaphragme en fonte ou en acier coulé avec revêtement intérieur de résines de polyéther chloré ou de chlorure de polyvinylidène donneront un service adéquat (DOW PPS, 1971). À des températures normales, le viton, l'amiante ou le téflon peuvent être utilisés comme matériaux de garniture.

Une pompe centrifuge à admission unilatérale à entraînement magnétique dépourvue de joint étanche dont l'extrémité d'admission est faite d'acier inoxydable 316 donne de bons résultats (ASS). Avec ce type de pompe, les fuites sont pratiquement éliminées. Il faut prévoir un moyen de purger la pompe afin que les réparations puissent être faites en toute sécurité.

La pompe doit être munie de brides aux deux extrémités; il est préférable d'éviter les raccords filetés, qui sont sujets aux fuites.

4.3 Compatibilité entre le benzène et certains matériaux

La compatibilité entre le benzène et les matériaux utilisés est indiqué au tableau 5.

Voici une brève définition des termes utilisés dans le présent guide pour évaluer les matériaux:

Recommandé:	donne satisfaction dans l'utilisation présentée
Réserves:	se détériore dans l'utilisation présentée; approprié dans le cas d'une utilisation intermittente ou de courte durée;
Déconseillé:	se détériore rapidement dans l'utilisation présentée; ne devrait jamais être utilisé.

Tableau 5
Compatibilité entre le produit et certains matériaux

Application	Produit chimique		Matériau		
	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords					Polyéthylène Acrylonitrile-butadiène-styrène PVC I PVC II (DPPED, 1967) Plastiques Caoutchouc (CCPA, 1982)
	100 %	79 °C 21 °C 66 °C 52 °C 52 °C 24 °C	Polypropylène (DCRG, 1978) Acier non allié (MCA, 1960) Polyéther chloré (DCRG, 1978) Fluorure de polyvinylidène (DCRG, 1978) Fluorure de polyvinylidène (DCRG, 1978) Chlorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
2. Soupapes	Goudron de houille ou pétrole brut	21 °C	Acier inox. 316 (JSSV, 1979)		
	Pétrole brut	Ébullition	Acier inox. 316 (JSSV, 1979)		
	Goudron de houille ou pétrole brut	Chaud	Acier inox. 316 (JSSV, 1979)		
3. Pompes	100 %	38 °C	Esther vinylique renforcé de verre avec joint torique en viton		
4. Stockage	100 %	21 °C	Acier non allié (MCA, 1960)		
5. Autres		21 °C 22 °C	Fluorure de polyvinylidène (TPS, 1978)		PVC Chlorure de polyvinyle chloré (TPS, 1978)
		23 °C		Polypropylène (TPS, 1978)	

	49 °C 66 °C			Polypropylène (TPS, 1978) Fluorure de polyvinylidène (TPS, 1978)
Goudron de houille ou pétrole brut	20 °C	Acier inox. 302 Acier inox. 304 Acier inox. 316 (ASS)		
Goudron de houille ou pétrole brut	Ébullition	Acier inox. 302 Acier inox. 304 Acier inox. 316 (ASS)		
Techniquement pur	20 °C	Polyoxyméthylène viton (GFPS)	Caoutchouc d'acrylonitrile/butadiène (GFPS)	PVC non plastifié Polyéthylène Polypropylène Caoutchouc naturel Caoutchouc d'isobutylène/isoprène (butyl) Caoutchouc d'éthylène-propylène Polychloroprène (néoprène) Polyéthylène chlorosulfonique (hypalon) (GFPS)

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

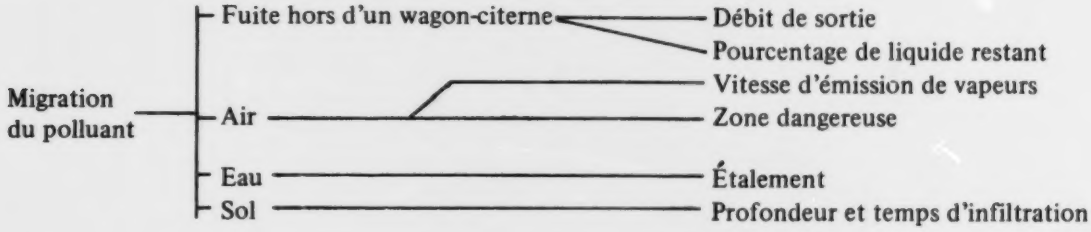
5.1 Aperçu général

Le benzène est un liquide incolore et volatil généralement transporté par wagons-citernes. Déversé dans l'environnement, il forme une nappe liquide qui s'étale à la surface de l'eau et du sol dans lequel il s'infiltre et est retenu par adsorption. L'évaporation entraîne une émission continue de vapeurs dans l'atmosphère.

Sur l'eau, la nappe a tendance à s'étaler. Comme le produit est très peu soluble dans l'eau et moins dense que l'eau, seule une très petite quantité se dissout, le reste s'évaporant dans l'atmosphère jusqu'à ce que la nappe soit enlevée.

Le benzène répandu sur le sol est peu à peu adsorbé, à une vitesse qui varie selon le type de sol et son degré de saturation en eau. L'infiltration du liquide jusqu'à la nappe phréatique peut causer des pollutions.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'un déversement de benzène cause des migrations dans l'air, l'eau ou le sol.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques selon les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. – Le produit est ordinairement transporté par wagons-citernes, à la pression atmosphérique. Les modèles de wagons-citernes varient beaucoup, de sorte que nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes de fuite. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et il peut contenir environ 80 000 l. S'il y a rupture de la paroi inférieure de la citerne remplie de benzène dont la température est supérieure à 5,5 °C, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide, à mesure que le temps s'écoulera. Comme les citernes ne sont pas sous pression et comme le produit est peu volatil, aucun nomogramme n'a été élaboré sur la fuite éventuelle de vapeurs par un orifice qui serait situé sur le dessus de la citerne.

Dans le cas d'un orifice situé dans le bas d'une citerne, le débit de sortie, en l'occurence le débit de fuite, se calcule par la méthode dite des orifices, qui consiste en une formule corrigée

du théorème de Torricelli. Le débit de fuite (q), qui est un débit-volume (q_v), est fonction de la surface de la section (s) et de la forme de l'orifice, de la hauteur (h) de liquide au-dessus de l'orifice et du coefficient de débit (Cq). Pour préparer les nomogrammes, on a supposé un coefficient de débit de 0,8.

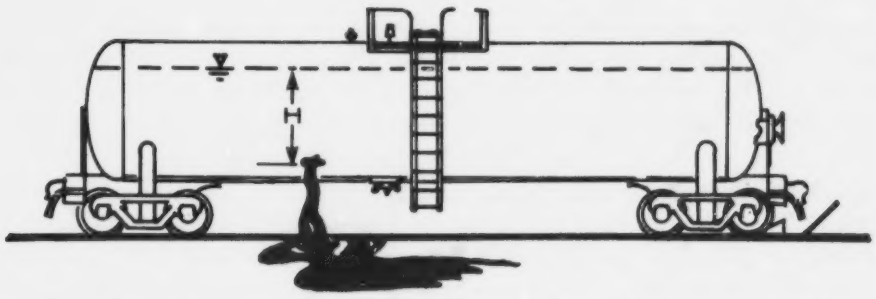


FIGURE 9 RUPTURE DE LA PAROI INFÉRIEURE D'UN WAGON-CITERNE

5.2.2 Nomogrammes relatifs aux fuites

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps. – La figure 10 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne type a 2,75 mètres de diamètre et 13,4 mètres de longueur, qu'il contient 80 000 litres de liquide et qu'il est plein au moment du bris. Le volume de liquide restant, après un temps d'écoulement donné (t), n'est pas seulement fonction du débit de fuite, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

5.2.2.2 Débit de fuite en fonction du temps d'écoulement. – La figure 11 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps d'écoulement donné (t), en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu bris d'un wagon-citerne type (diamètre de 2,75 m et longueur de 13,4 m) rempli. L'orifice est situé dans le bas de la citerne. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir figure 10): si t = 10 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 (soit 28 800 l) du volume initial.

PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit instantané après 10 minutes d'écoulement? Solution (voir figure 11): si t = 10 mn et D = 150 mm, le débit instantané (q) = 70 l/s.

Figure 10

BENZÈNE — **POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT/TEMPS D'ÉCOULEMENT**

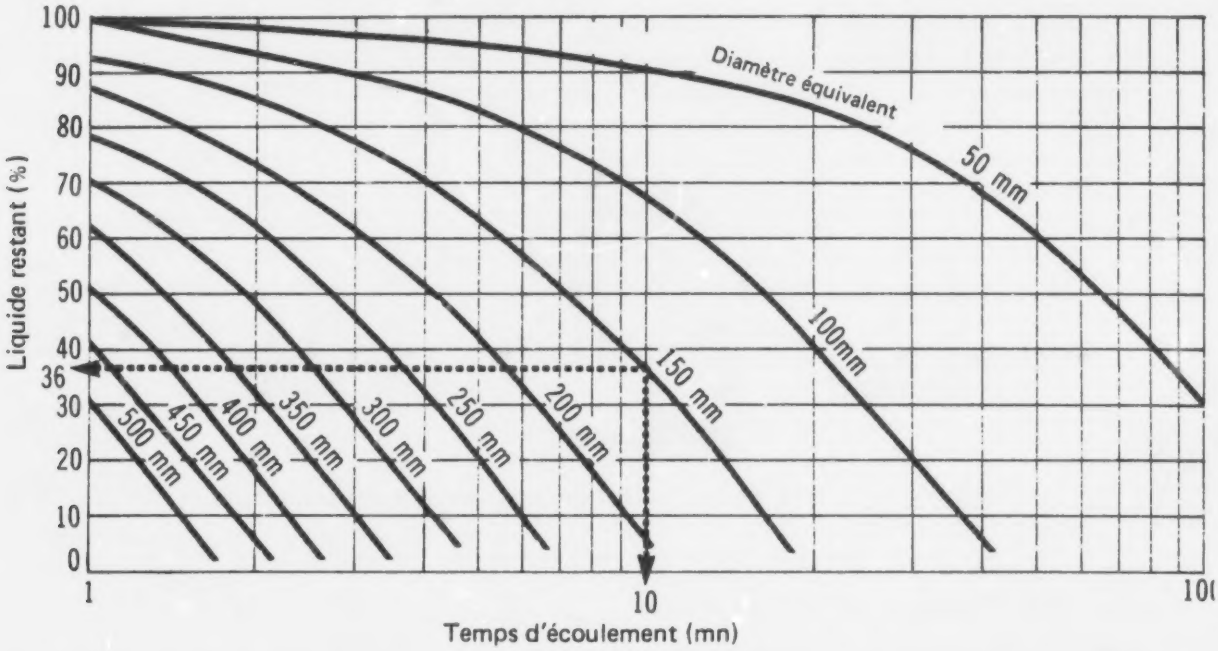
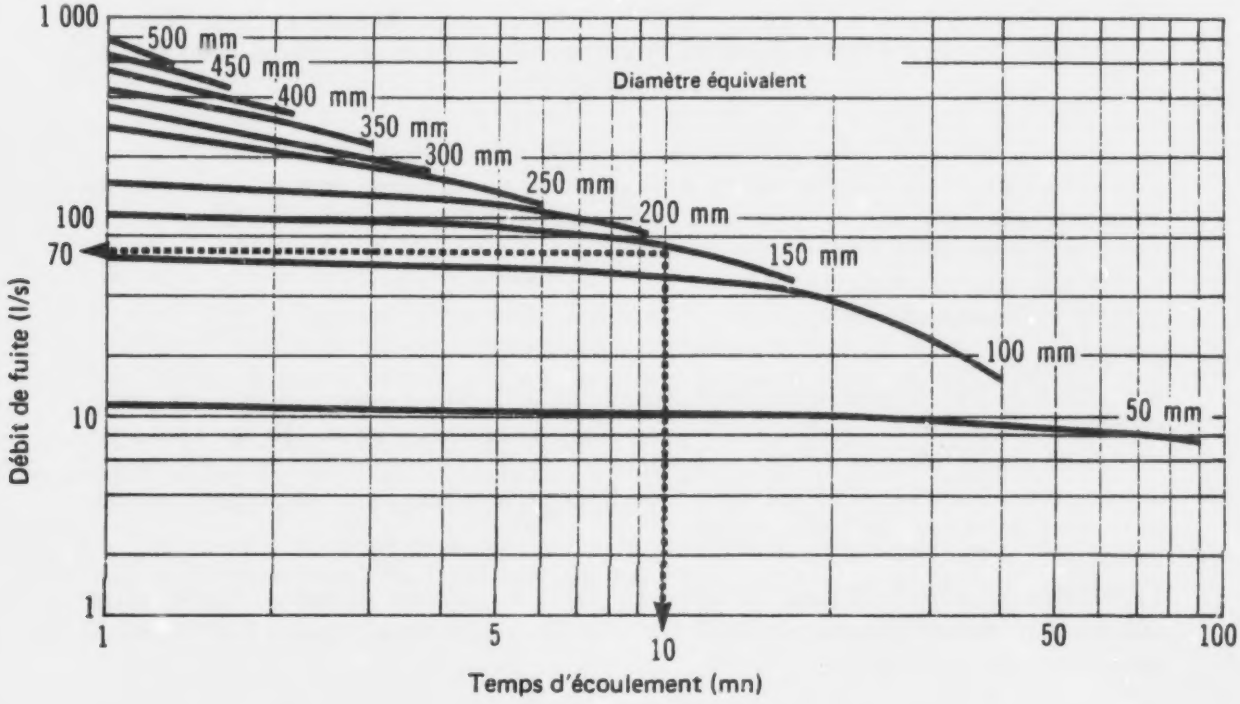


Figure 11

BENZÈNE — **DÉBIT DE FUITE/TEMPS D'ÉCOULEMENT**



5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 **Introduction.** – Comme le benzène est un liquide non volatil, un dégagement de vapeurs dans l'atmosphère à partir d'un orifice dans la paroi d'une citerne ne présente aucun danger important du côté sous le vent. Il ne sera question dans le présent ouvrage que des vapeurs dégagées à partir d'une nappe de liquide répandu sur le sol ou à la surface de l'eau.

Pour évaluer les teneurs en vapeurs du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) dans l'atmosphère des vapeurs. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein du panache; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le Manuel d'introduction Enviroguide.)

La figure 12 schématise la diffusion d'un panache polluant émis en continu par une aire source. Le modèle de diffusion considère l'aire source, soit la nappe de liquide, comme un point source virtuel (possédant le même débit d'émission de vapeurs (q)), situé en amont, à une distance équivalant à dix fois le rayon de la nappe.

5.3.2 **Nomogrammes de diffusion du panache de vapeurs.** – Les nomogrammes de diffusion atmosphérique du panache servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité et de l'inflammabilité. Les nomogrammes, figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Figure 14 Débit d'émission des vapeurs se dégageant d'une nappe liquide, calculé en fonction du rayon maximal de la nappe

Tableau 7 Conditions météorologiques (catégories de stabilité)

Figure 15 Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories de conditions météorologiques

Tableau 8 Demi-largeurs maximales du panache dangereux

Figure 18 Distance parcourue par le panache, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses de vent

La figure 13 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé et au rayon équivalent de la nappe figurent aux sections 5.2 et 5.4 respectivement.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 **Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température** (fig. 14). – Le Manuel d'introduction Enviroguide fournit des équations sur le taux d'évaporation permettant de calculer le taux d'évaporation propre au benzène. À une température de 20 °C et sous un vent dont la vitesse est de 4,5 m/s (16,1 km/h), ce taux est de 2,3 $g/m^2 \cdot s$. D'autres taux ont été calculés à l'aide d'une équation qui, pour un vent donné, tient compte de la température ambiante et de la pression de vapeur du produit (CRC, 1975) à cette température. Ainsi, pour un vent dont la vitesse est de 4,5 m/s, le taux d'évaporation est de 0,05 $g/m^2 \cdot s$ à 0 °C, alors qu'il est de 3,25 $g/m^2 \cdot s$ à 30 °C.

Figure 12

BENZÈNE **FORMATION D'UN PANACHE DE VAPEURS**

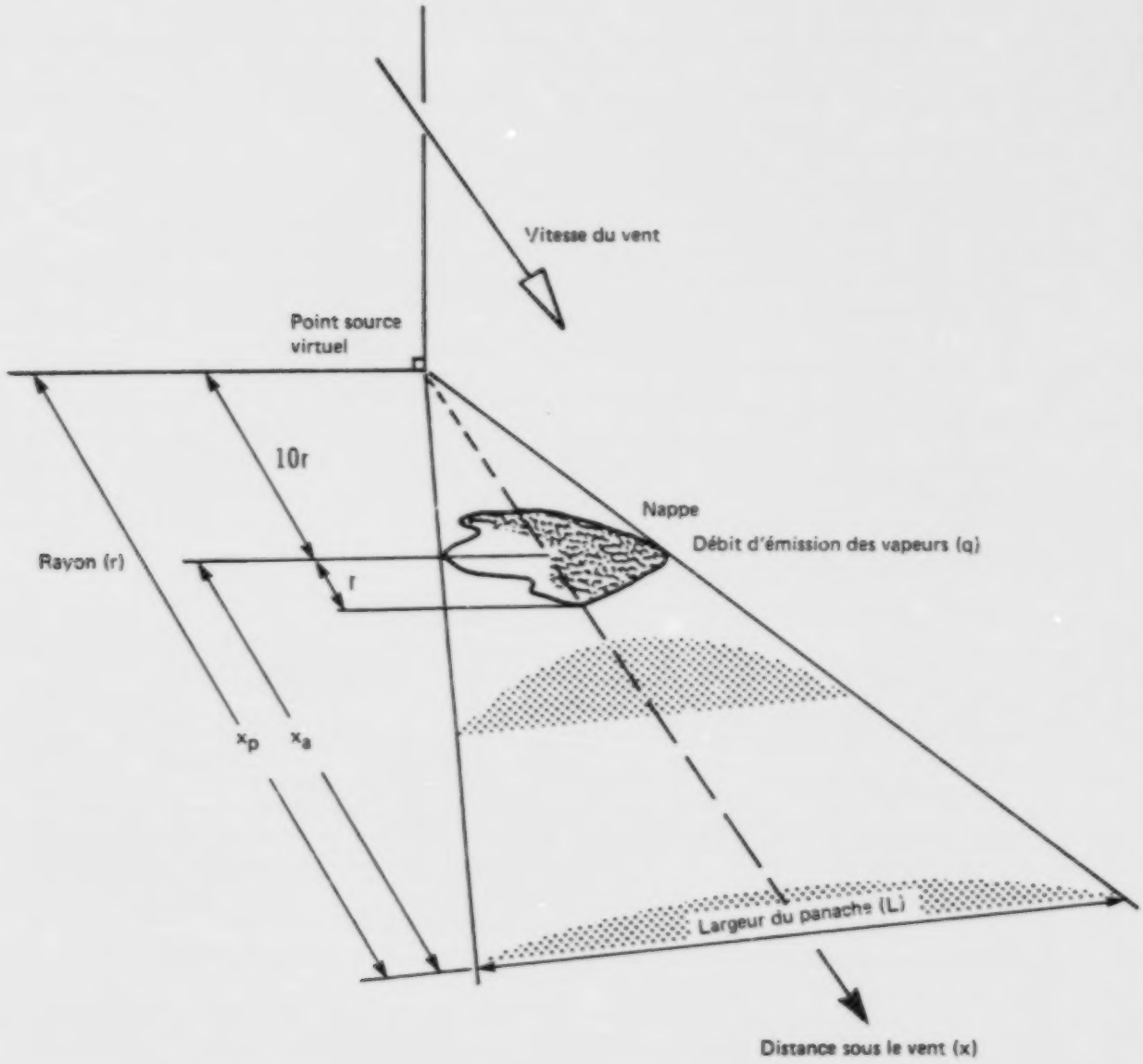


Figure 13

BENZÈNE — **ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE**

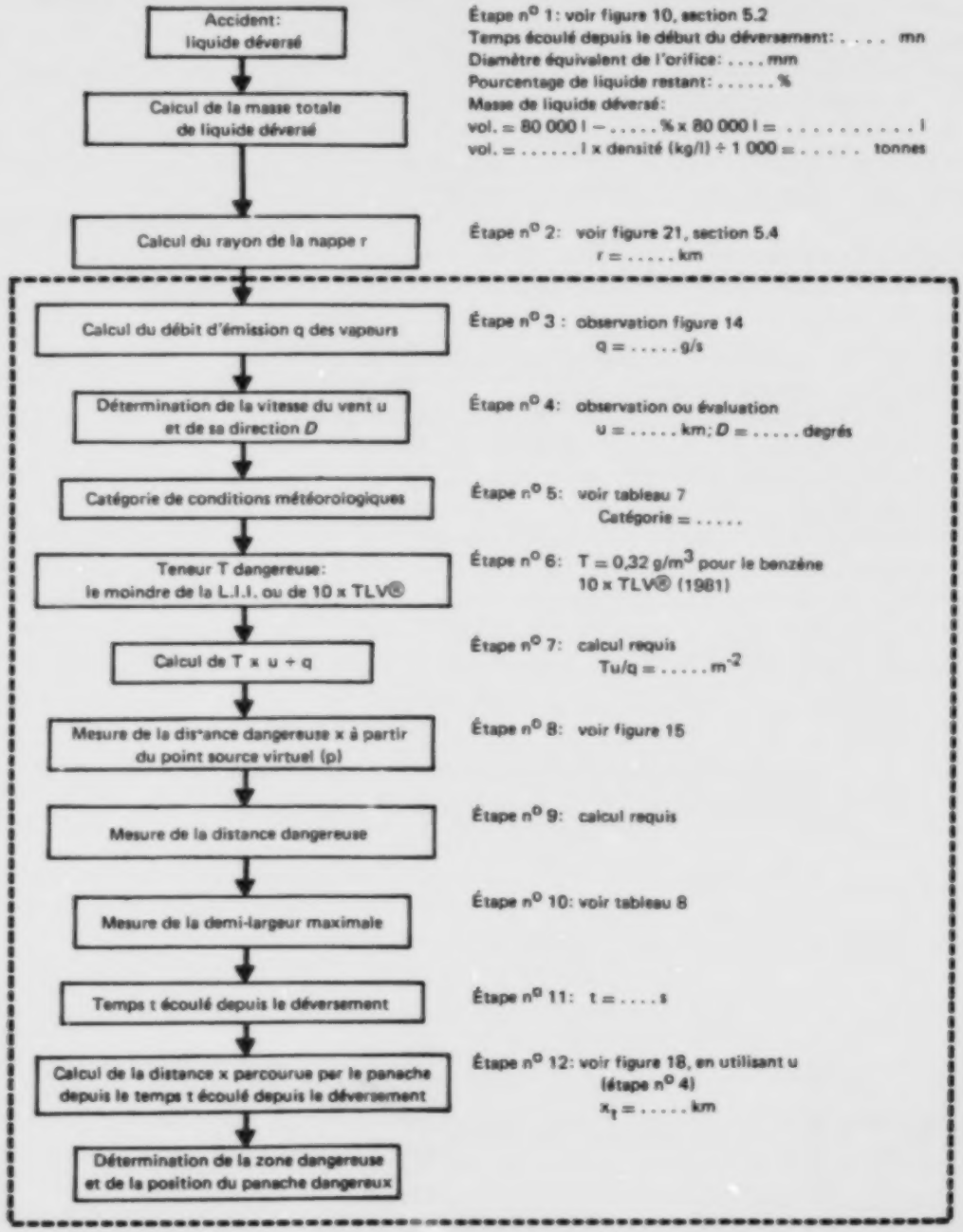
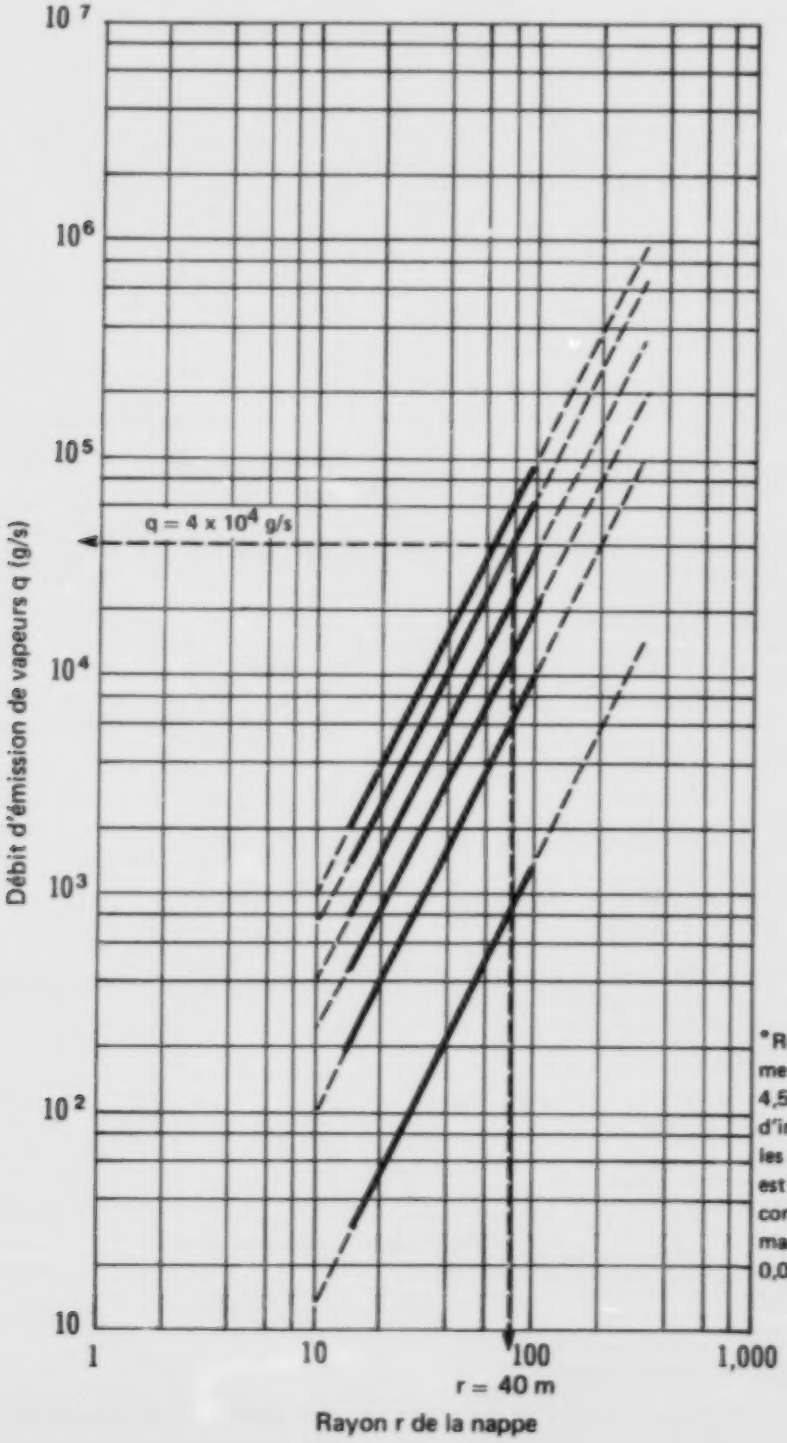


Figure 14

BENZÈNE

DÉBIT D'ÉMISSION DE VAPEURS À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES*, EN FONCTION DU RAYON DE LA NAPPE



*Remarque. – Le nomogramme vaut pour un vent de 4,5 m/s. Voir le Manuel d'introduction pour convertir les valeurs si la vitesse du vent est différente. Les segments continus représentent des masses de liquide déversé de 0,05 à 70 tonnes.

En utilisant la figure 21, section 5.4 on peut calculer le rayon maximal de la nappe selon le volume de liquide déversé. Le rayon et le taux d'évaporation ainsi calculés permettent d'établir le nomogramme de la figure 14 sur la relation entre le rayon de la nappe et le débit d'émission des vapeurs.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

Pour une nappe de rayon connu, le débit (q) d'émission des vapeurs dans l'atmosphère à une température donnée peut être évalué à l'aide de la figure 14. Les segments continus des droites représentent des quantités déversées allant de 0,05 à 70 tonnes, ce dernier chiffre correspondant à peu près au volume type de 80 000 litres (17 600 gal imp.) contenu dans un wagon-citerne chargé de benzène. Le lecteur notera que la figure 14 vaut pour une vitesse du vent de 4,5 m/s (16,1 km/h); elle ne permet donc qu'une évaluation approximative du débit d'émission pour toute autre vitesse du vent. En revanche, le Manuel d'introduction Enviroguide fournit l'équation qui permet d'établir le taux d'évaporation pour une vitesse de vent donnée à partir du taux pour une vitesse de 4,5 m/s.

Le calcul de la vitesse d'évaporation est basé sur le rayon d'une nappe à la surface d'un plan d'eau calme (Tableau VI, CHRIS, 1974). Comme un plan d'eau calme constitue une surface plane, non confinée, ce qui est rarement le cas lorsqu'il y a un déversement sur terre (sol poreux et irrégulier), on obtient un rayon maximal, donc des valeurs maximales. Si l'on applique l'algorithme calculé pour un plan d'eau calme à un déversement sur terre, le rayon sera plus grand qu'en réalité et les valeurs obtenues seront celles qui s'appliquent à des cas extrêmes.

5.3.2.2 Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. – La figure 15 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories D et F de conditions (météorologiques) de stabilité. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le Manuel d'introduction Enviroguide. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée (Tu/q) au niveau du sol le long de la médiane du panache schématisé. La catégorie F est la moins propice à la diffusion du panache; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 6) avant d'utiliser la figure 15.

Tableau 6
Deux catégories de conditions (météorologiques) de stabilité

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (~ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	Valable pour presque toutes les autres conditions.

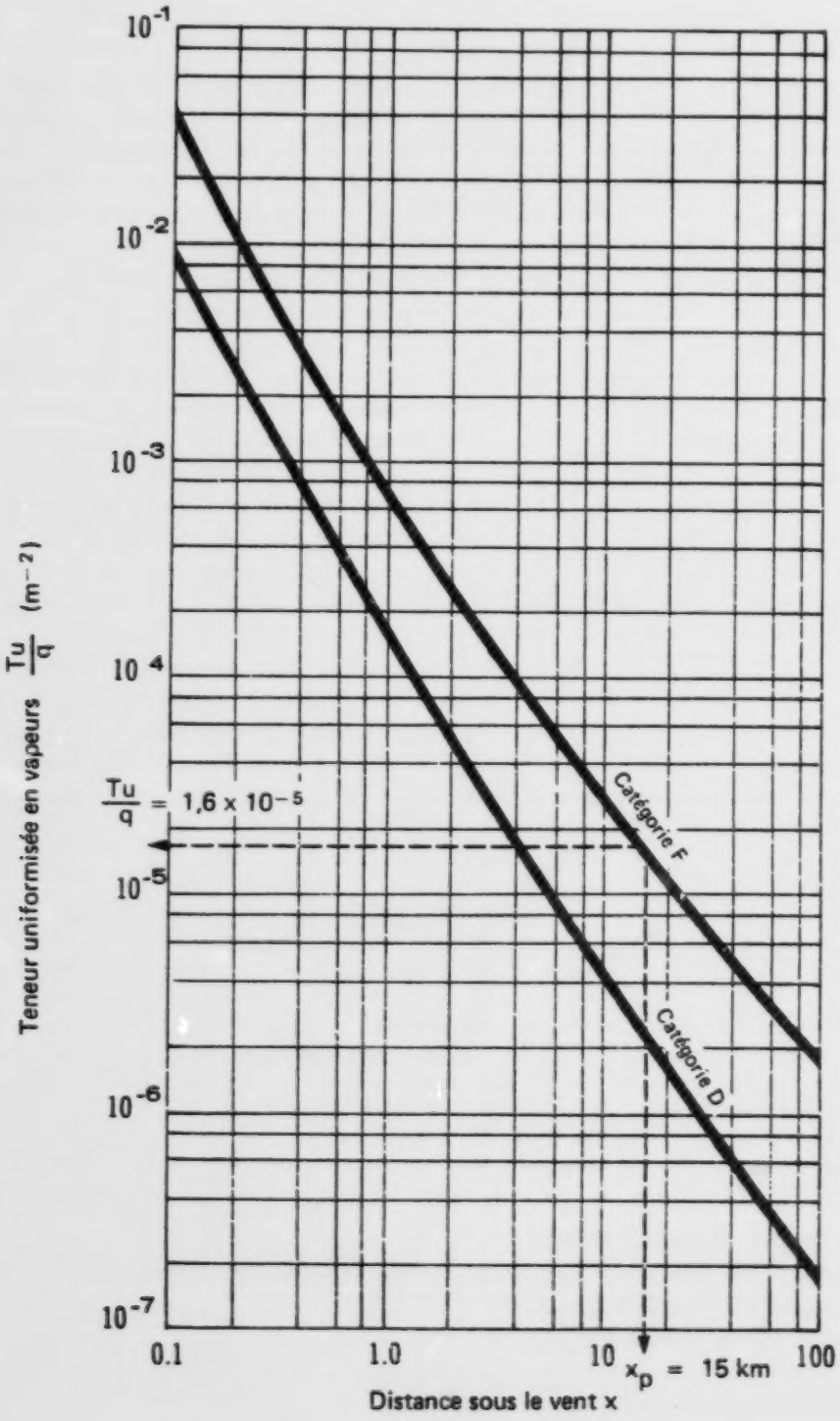
UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent (x) peut être déterminée à l'aide de la figure 15, si l'on possède les données suivantes:
Débit (q) d'émission des vapeurs, en g/s;
Vitesse du vent (u), en m/s;
Catégorie de conditions (météorologiques) de stabilité;

Figure 15

BENZÈNE

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT



Teneur (T) dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre 10 fois la *Threshold Limit Value®* ((g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (g/m^3). À noter que pour convertir en TLV®, exprimée en ppm, et la L.I.I., en pourcentage de volume, en teneurs de g/m^3, il faut utiliser les figures 16 et 17.

Une teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV®, a été choisie de façon arbitraire; elle représente une limite «relativement réaliste» au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV® est une norme d'exposition de longue durée sur les lieux de travail. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées.

5.3.2.3 **Demi-largeur maximale du panache dangereux.** – Le tableau 7 présente des valeurs de la demi-largeur maximale du panache (L/2)max. pour une plage de valeurs q/u, en fonction des conditions de stabilité D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le Manuel d'introduction Enviroguide, en supposant une teneur dangereuse limite (ce qu'on appelle communément une teneur maximale admissible) égale à 10 fois la TLV® (soit 10 x 0,032 g/m^3 ou 0,32 g/m^3). La demi-largeur du panache dangereux représente la demi-largeur du nuage de vapeurs de benzène, situé du côté sous le vent et atteignant une teneur égale à 10 x TLV®. Le tableau 7 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 0,32 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité D, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 30 m/s. Quant à l'éventail de débits d'émission (q) utilisé, qui va de 3000 à 2 000 000 g/s, il correspond à un éventail de masses déversées comprises entre 0,3 et 10 000 tonnes respectivement. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 70 300 kg (70 tonnes). Le tableau 7, pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses jusqu'à 140 fois plus considérables.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité F, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 3 m/s. Quant à l'éventail de débits d'émission (q) utilisé, qui va de 300 à 200 000 g/s, il correspond à un éventail de masses déversées comprises entre 0,05 et 375 tonnes. Le tableau 8, pour la catégorie F, fournit des chiffres calculés en fonction de masses atteignant 5 fois celle que contient un wagon-citerne standard.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

À partir de valeurs connues de q et de u et en fonction d'une catégorie donnée de stabilité, calculez q/u. Choisissez la valeur q/u la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante, en mètres. Si vous désirez un résultat un peu plus précis, déterminez par interpolation les valeurs q/u et (L/2)max. (Voir également l'exemple qui accompagne le tableau 7.)

5.3.2.4 **Distance parcourue par le panache, en fonction du temps écoulé.** – La figure 18 indique la distance (x) parcourue par le panache après un temps (t) de déplacement pour une vitesse de vent (u) donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

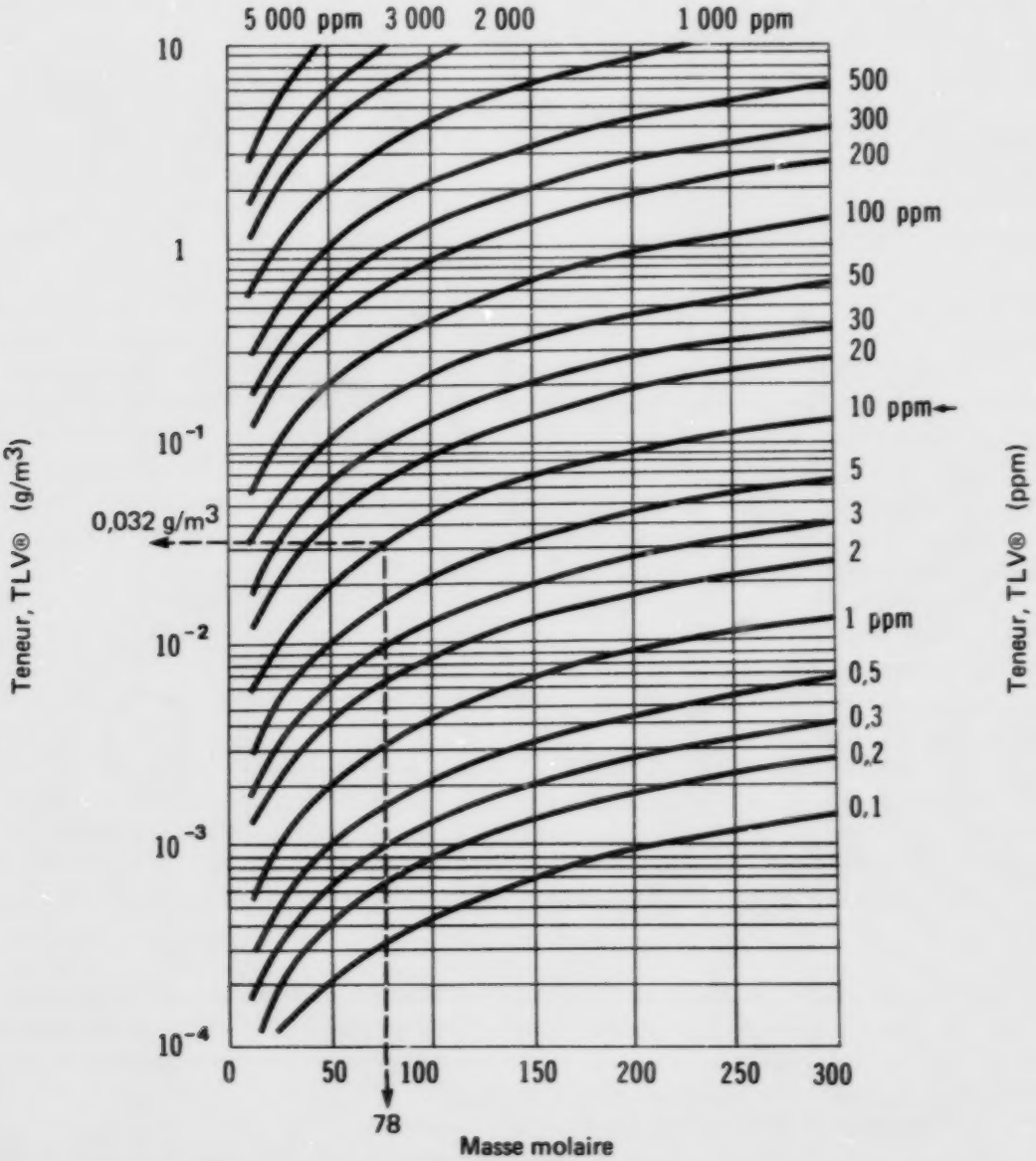
UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse du vent (u) et le temps (t) de déplacement du panache étant connus, la distance (x_t) parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 **Étapes du calcul.** – L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse du côté sous le vent du lieu où se produit un

Figure 16

BENZÈNE — **CONVERSION DE LA TLV® (ppm à g/m^3)**



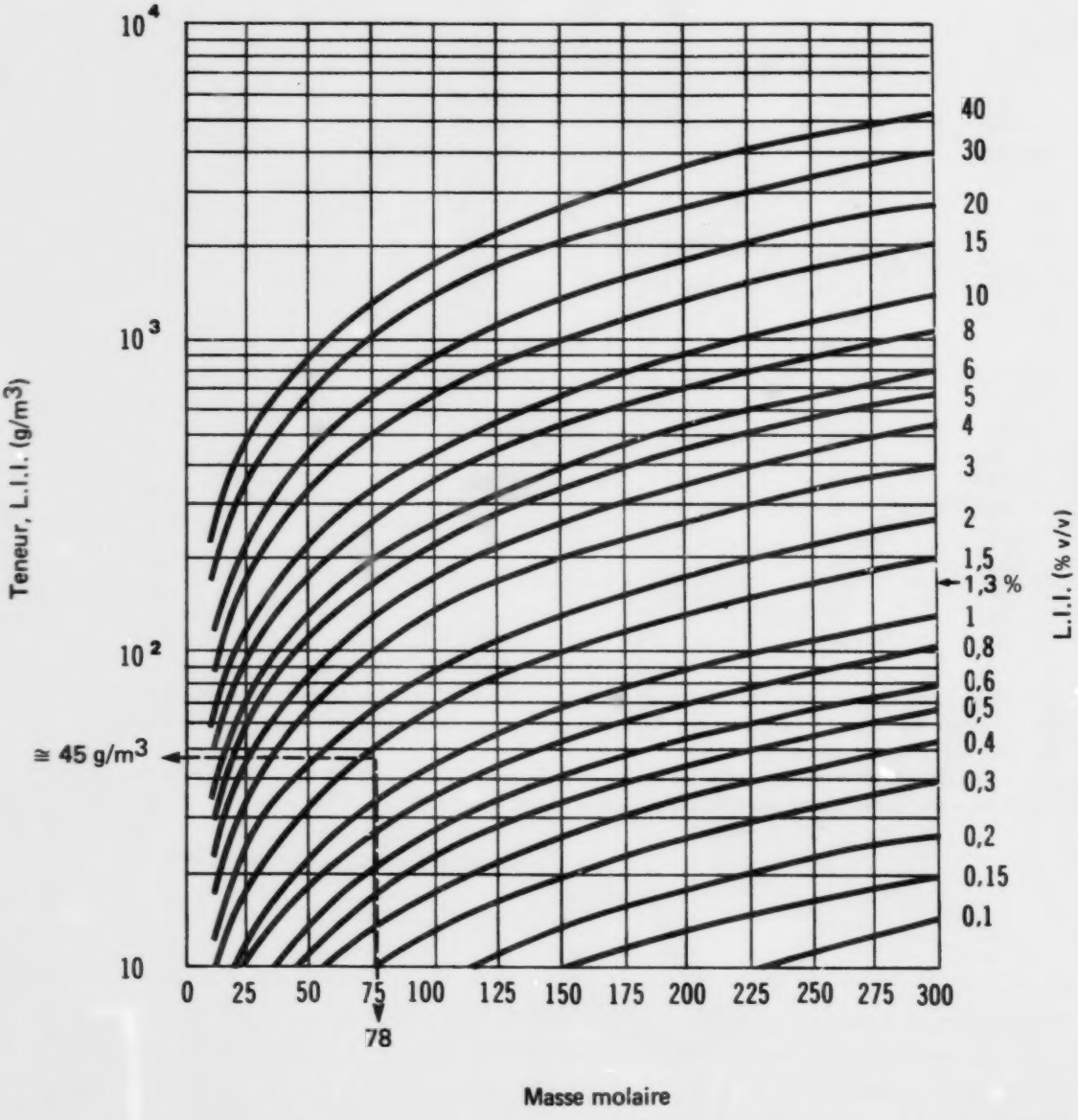
Exemple: MM du benzène = 78 TLV® = 10 ppm, alors TLV® en g/m^3 ≅ 0,032

Note: Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm

Figure 17

BENZÈNE

CONVERSION DE LA L.I.I. (% de volume à g/m^3)



Exemple: MM de benzène = 78, L.I.I. = 1,3 %, alors L.I.I. en g/m^3 ≅ 45

Note: Ces données valent pour une temp. de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm

Tableau 7
Demi-largeurs maximales du panache dangereux
(pour le benzène à 20 °C)

Conditions de stabilité D			Conditions de stabilité F		
q/u (g/m)	(L/2)max. (m)		(q/u) (g/m)	(L/2)max. (m)	
2 000 000	3 200		200 000	1,480 (99,5 km)*	
1 800 000	2 990 (99,5 km)*		150 000	1 190	
1 600 000	2 785		125 000	1 040	
1 400 000	2 560		100 000	880	
1 200 000	2 330		75 000	710	
1 000 000	2 080		50 000	525	
800 000	1 815		25 000	320	
600 000	1 520	q/u = 19 050 →	20 000	275	→ (L/2)max. = 275 m
500 000	1 360		15 000	230	
400 000	1 180		10 000	180	
300 000	990		5 000	115	
250 000	885		2 000	65	
200 000	770		1 000	40	
150 000	645		500	30	
100 000	510		100	10	
75 000	430				
50 000	340				
25 000	230				
15 000	170				
5 000	90				
1 000	35				
500	25				
100	10				

Exemple. – Une nappe de benzène libère sa vapeur à un débit $q = 4{,}0 \times 10^4$ g/s dans les conditions de stabilité F; si la vitesse du vent u = 2,1 m/s, alors q/u = 19 050 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale du panache dangereux (L/2)max. de 275 m.
Note. – Ce tableau vaut seulement pour une teneur en benzène égale à 10 x TLV® ou 0,32 g/m^3.
*Les chiffres sont fournis pour une distance maximale sous le vent de 100 km.

déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur, dans un cas de déversement réel, se serve de données connues ou observables (par exemple en ce qui concerne le rayon de la nappe).

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de benzène ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 La masse *m* de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Calculer le rayon r de la nappe.
Utiliser le rayon mesuré sur place si cela est possible.
Sinon, utiliser le rayon maximal de la figure 21, section 5.4. A noter que l'utilisation de cette donnée, qui s'applique aux déversements sur un plan d'eau donnera une mesure exagérée du rayon de la nappe sur le sol.
r = 75 ÷ 1000 = 0,075 km

Étape 3 Calculer le débit d'émission q à temp. = 20 °C.

Étape 4 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction *D*.
Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:
u = 7,5 km/h; u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s;
D = N.-O. ou 315° (*D* = direction d'où souffle le vent).

Étape 5 Déterminer la catégorie appropriée de conditions météorologiques.
Le tableau 7 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F, puisque u < 11 km/h et que le déversement se produit au cours de la nuit.

Étape 6 Déterminer la teneur T dangereuse limite.
Il s'agit de la valeur la moindre entre 10 x TLV® et la limite inférieure d'inflammabilité dans le cas du benzène, donc:
T = 0,32 g/m^3 (TLV® = 0,032 g/m^3; L.I.I. = 45 g/m^3)

Étape 7 Calculer Tu/q.

$$Tu/q = \frac{0{,}32 \times 2{,}1}{4 \times 10^4} = 1{,}68 \times 10^{-5}\ m^{-2}.$$

Étape 8 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p virtuel.
Voir figure 15. Pour une catégorie F de conditions météorologiques,
si Tu/q = 1,68 x 10^{-5} m^{-2}, x_p = 15 km.

Étape 9 Calculer la distance dangereuse maximale du côté sous le vent x à partir de l'aire source a.
Comme x_p = 15 km et r = 0,075 km,
$x_a = x_p - 10\,r$ = 15 km − 10 (0,075 km) = 14,3 km.

Étape 10 Calculer la demi-largeur maximale du panache dangereux.
Se servir du tableau 7. Comme q = 4 x 10^4 g/s et u = 2,1 m/s,

$$q/u = \frac{4 \times 10^4}{2{,}1} = 19\,050\ g/m$$

pour la catégorie F de conditions météorologiques, la valeur de q/u est de 20 000 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale de 275 m.

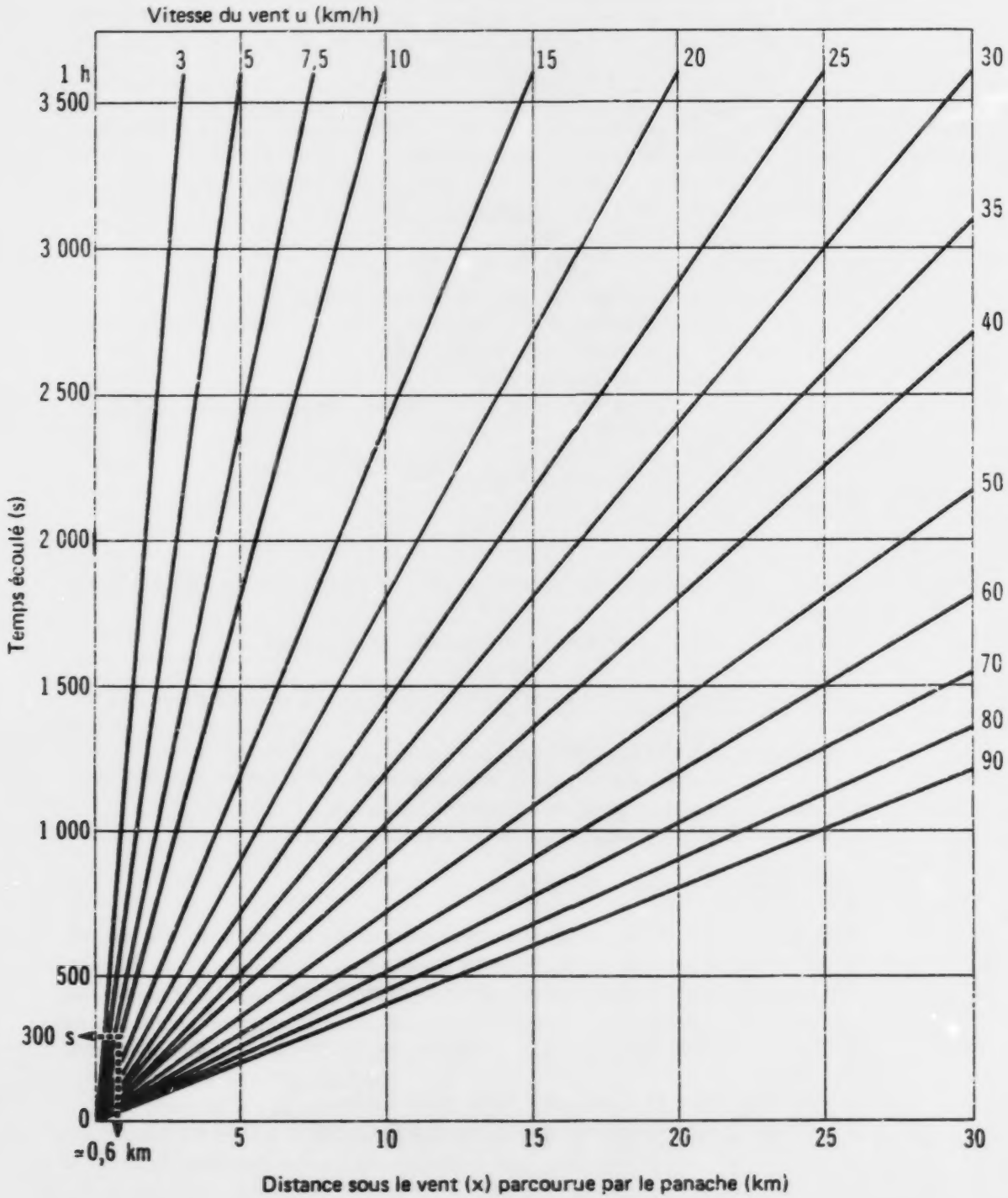
Étape 11 Déterminer le temps t écoulé depuis le début du déversement,
t = 5 mn x 60 = 300 s.

Étape 12 Calculer la distance sous le vent x parcourue par le panache depuis le début du déversement.
Se servir de la figure 18. Comme t = 300 s et u = 7,5 km/h,
x_t = 0,6 km (plus précisement: ut = 2,1 m/s x 300 s = 630 m = 0,63 km).

Figure 18

BENZÈNE

DISTANCE PARCOURUE PAR LE PANACHE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Étape 13 Schématiser la zone dangereuse.

Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale du panache dangereux (275 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir de l'aire source, soit 14,3 km, et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 19).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°), le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 20.

Note. – Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, le panache a franchi seulement 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 115 minutes avant que le panache ne franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 14,3 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Déversé dans l'eau, le benzène s'évapore et s'étale simultanément sur la surface. Parce qu'il est très peu soluble, seule une petite quantité se dissous dans l'eau; le reste s'évapore jusqu'à ce que la nappe soit enlevée. Comme le benzène s'évapore très rapidement, le problème du transport dans les cours d'eau ne se pose pas.

Dans la préparation du nomogramme, l'étalement sur l'eau à été estimé en supposant qu'aucune quantité de benzène n'avait été dissoute dans l'eau. Par contre, on a tenu compte de la perte par évaporation.

Le taux d'étalement est fondé sur l'équilibre des forces qui tendent à favoriser l'étalement du liquide (force de pesanteur et tension interfaciale) et les forces qui tendent à s'y opposer (inertie et viscosité). L'étendue maximale de la nappe dépend en grande partie du taux d'évaporation.

Les équations représentant l'étalement de la nappe sur l'eau sont indiquées dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Dans la préparation du nomogramme, on a supposé une température de l'eau de 20 °C, ce qui représente un maximum raisonnable pour les plans d'eau de surface. Cette condition permet l'étalement maximal de la nappe.

5.4.2 Nomogramme de l'étalement en eau calme. – Le nomogramme de la figure 21 sert à simplifier le calcul de l'étalement sur les étendues d'eau calme (en ne supposant aucune dissolution dans l'eau) et à estimer le temps d'évaporation totale de nappes de diverses dimensions.

Figure 21 Rayon maximal de la nappe en fonction du volume déversé

La figure 21 fournit un moyen simple d'estimer le rayon maximal de la nappe (en ne supposant aucune dissolution) si le volume du déversement est connu. Le nomogramme s'inspire de données présentées dans le Hazard Assessment Handbook (CHRIS, 1974) et d'un modèle mathématique de l'étalement et de l'évaporation simultanés d'un liquide cryogénique déversé dans l'eau (Phani, 1974). L'échelle des minutes du nomogramme permet d'estimer le temps nécessaire à l'évaporation complète de la nappe. Les intervalles étant courts, on n'a pas tracé l'échelle de temps complète de l'étalement de la nappe. De la même façon, la distance parcourue par la nappe en raison des vents ou du courant de surface n'a pas été incluse dans les calculs.

Figure 19

BENZÈNE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

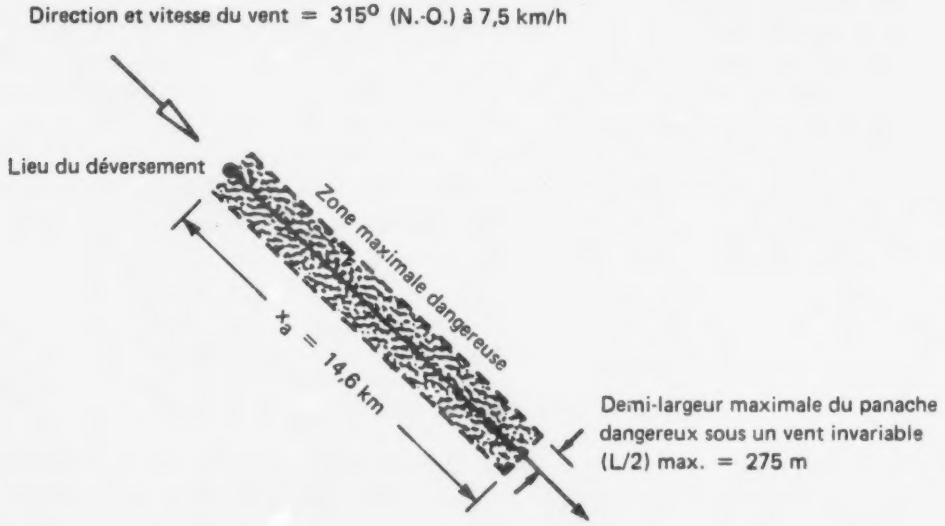


Figure 20

BENZÈNE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

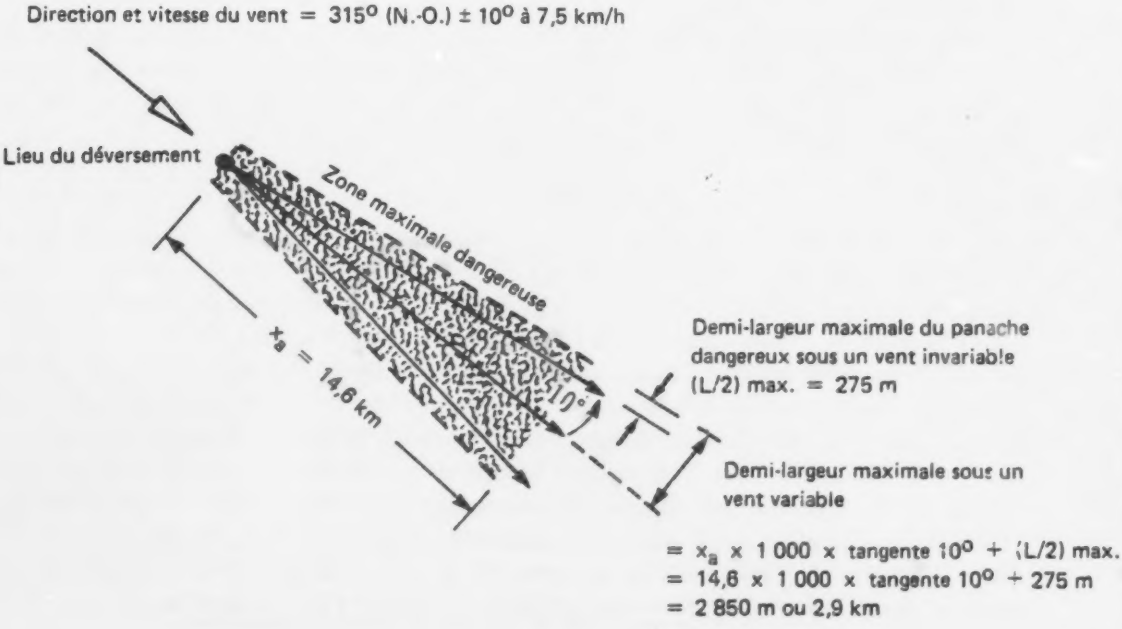
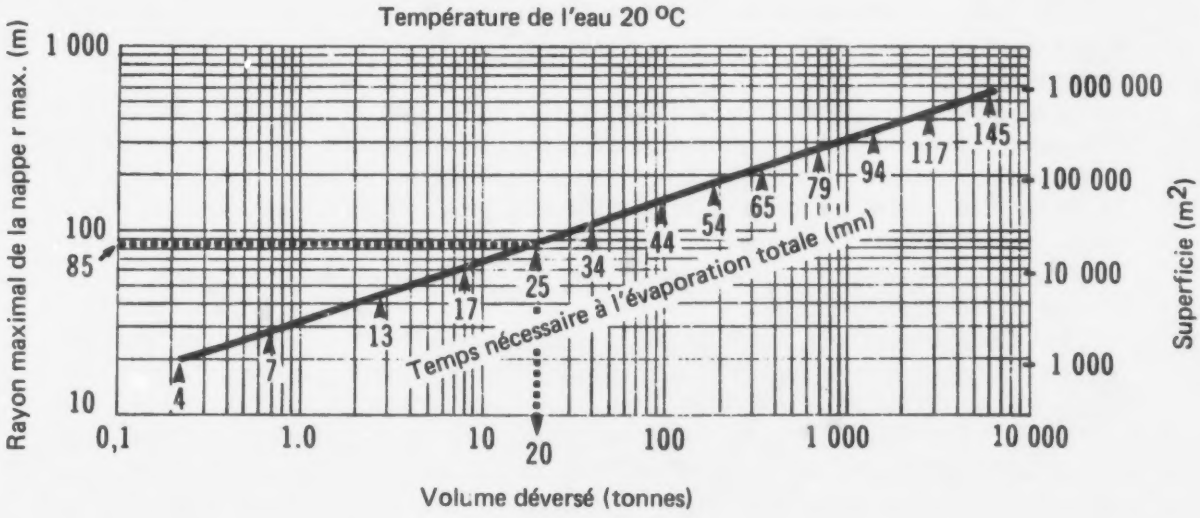


Figure 21

BENZÈNE — RAYON MAXIMAL DE LA NAPPE EN FONCTION DU VOLUME DÉVERSÉ



5.4.3 **Exemple de calcul.** – Vingt tonnes de benzène ont été déversées accidentellement dans un grand lac. Quel serait le rayon maximal de la nappe (en ne supposant aucune dissolution) et le temps approximatif nécessaire à l'évaporation complète? Solution: Utiliser la figure 21. Si le volume égale 20 tonnes, r max. = 75 m. Le temps nécessaire à l'évaporation complète est d'environ 25 minutes.

5.5 Comportement dans la subsurface: migration dans le sol

5.5.1 **Mécanismes.** – Les principes du transport des contaminants dans le sol et leur application au présent calcul sont présentés dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Certains aspects du déversement du benzène sur le sol et de sa migration dans le sol sont présentés ci-après.

À la pression atmosphérique normale, le point d'ébullition du benzène se situe à 80,1 °C. Aussi, l'évaporation est-elle faible lorsque le produit est déversé sur le sol à une température inférieure à ce point. À une température de 20 °C, le taux d'évaporation sera de 2,3 g/m^2 . s.

Le reste du benzène s'infiltera dans le sol d'où il continuera à s'évaporer, mais moins rapidement.

Lorsqu'un déversement de benzène sur le sol est suivi de précipitations, la migration du benzène et de l'eau devient un processus en phases multiples, soit les phases liquide et vapeur du benzène et de l'eau et le benzène absorbé sur les particules de sol. C'est la migration du benzène jusqu'à la nappe phréatique qui cause le plus d'inquiétude.

Il existe malheureusement peu de données permettant d'évaluer avec précision la migration d'un polluant non miscible dans le sol. Quelques études sur le terrain ont été effectuées, particulièrement dans le cas de déversements de pétrole, d'essence ou de biphényles polychlorés

(BPC), mais il existe peu d'informations relativement à la plupart des déchets dangereux. Il faut donc, pour le benzène, supposer un scénario simplifié des conditions du sol et des eaux souterraines et décrire le comportement du benzène en se référant à des matières dont le comportement est mieux connu.

Un modèle du mouvement descendant de fluides non miscibles, tel le benzène, dans le sol a été préparé en comparant ce mouvement à celui du pétrole déversé sur le sol (Blokker, 1971; Freeze et Cherry, 1979).

Il est supposé que, lorsqu'il se produit un déversement, le sol contient au plus une quantité d'eau égale à sa capacité au champ (ou capacité normale d'humidité) jusqu'au niveau de la nappe phréatique. Le benzène répandu remplit les pores à la surface du sol et commence à descendre. La vitesse d'infiltration est fonction du coefficient de perméabilité (K) du benzène dans le sol décrit dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Il est supposé que le benzène s'infiltre comme une masse saturée, laissant derrière elle une quantité résiduaire constante (So) de benzène dans les pores du sol.

La migration continue jusqu'à ce que le volume de benzène déversé par unité de surface (Bo) soit égal au volume retenu dans le sol (So). La migration capillaire peut entraîner un certain mouvement horizontal. Si Bo est supérieur au volume pouvant être retenu en So au-dessus de la nappe phréatique, l'excès de benzène s'étalera comme une crêpe à l'intérieur de la frange capillaire saturée d'eau souterraine. La zone polluée qui en résultera comprendra une colonne «verticale» et des crêpes «horizontales» de sol formées de la quantité résiduaire du benzène, So. La situation est schématisée à la figure 22.

L'adsorption sur les particules du sol, la volatisation et la biodégradation sont d'autres facteurs qui peuvent influer sur le devenir du benzène.

5.5.2 Équations décrivant le mouvement du benzène dans le sol. – Les équations et hypothèses utilisées pour décrire le mouvement descendant du contaminant à travers le sol non saturé vers la nappe phréatique figurent dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Les vitesses de migration ont été calculées d'après la loi de Darcy en posant comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée par suite d'un écoulement en bloc.

5.5.3 Coefficient de perméabilité du benzène en sol saturé. – Le coefficient de perméabilité K du benzène en sol saturé, exprimée en m/s est la suivante :

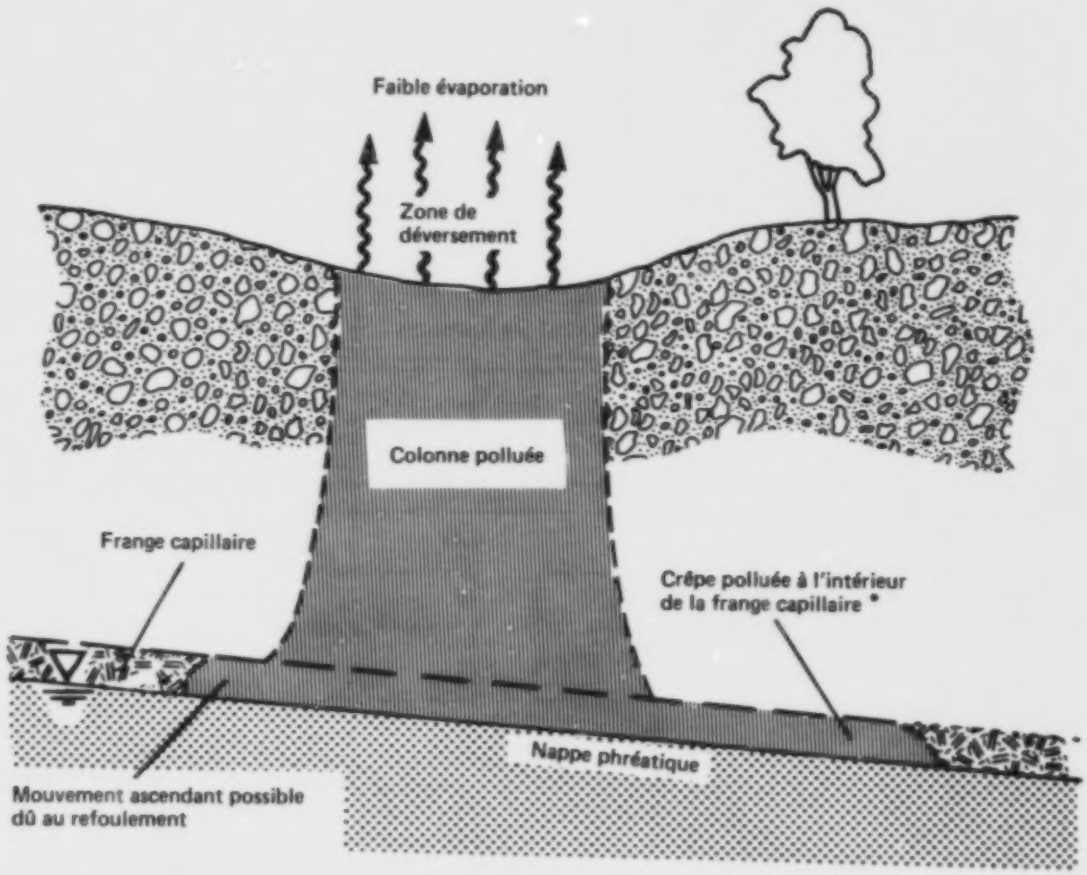
$$K = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où

k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)
ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)
μ = viscosité absolue du fluide (Pa · s)
g = accélération due à la force de pesanteur = 9,81 m/s^2

Figure 22

BENZÈNE — **MIGRATION DANS LE SOL**



Sol : sable grossier
– porosité (n) = 0,35
– perméabilité intrinsèque (K) = 10^{-9} m^2
– capacité au champ = 0,075

* La colonne et la crêpe contiennent du benzène résiduel, So = 0,05

Les fluides en question sont le benzène et l'eau

	Benzène		Eau
Caractéristique	20 °C	6 °C	20 °C
Masse volumique (ρ) kg/m^3	879	890	998
Viscosité absolue (μ) Pa · s	0,652 x 10^{-3}	0,84 x 10^{-3}	1,0 x 10^{-3}
Coefficient de perméabilité en sol saturé (K), m/s	(1,32 x 10^7)k	(1,04 x 10^7)k	(0,98 x 10^7)k

5.5.4 **Sols.** – Le Manuel d'introduction Enviroguide décrit les trois sols choisis pour ce travail. Leurs caractéristiques pertinentes sont les suivantes :

	Type de sol		
Propriété	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (n), m^3/m^3	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ	0,075	0,3	0,45
Benzène résiduaire dans les pores (So, m^3/m^2)	0,05	0,1	0,2
Coefficient de perméabilité en en sol saturé (K, m/s)			
à 20 °C	1,32 x 10^{-2}	1,32 x 10^{-5}	1,32 x 10^{-8}
à 6 °C	1,04 x 10^{-2}	1,04 x 10^{-5}	1,04 x 10^{-8}

5.5.5 **Nomogrammes de migration.** – Des nomogrammes ont été préparés pour chaque type de sol indiquant la profondeur totale de migration du benzène (B) en fonction du temps de migration (tm) pour divers volumes déversés par unité de surface du sol (Bo). Des températures de 6 °C et 20 °C ont été utilisées. Les calculs étaient basés sur les équations présentées dans le Manuel d'introduction Enviroguide.

À la figure 23, un schéma est présenté, expliquant l'utilisation des nomogrammes. Ces derniers sont présentés aux figures 24, 25 et 26. On peut utiliser ces nomogrammes pour des déversements de volumes différents en multipliant les échelles par le même facteur.

	Selon le nomogramme	Multiplicateur	Nouvelles valeurs
temp. = 20 °C	Bo = 0,4 m^3/m^2	0,1	Bo = 0,04 m^3/m^2
Sable grossier	tm = 41 mn	0,1	tm = 4,1 mn
	B = 23 m	0,1	B = 2,3 m

Figure 23

BENZÈNE — **PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES**

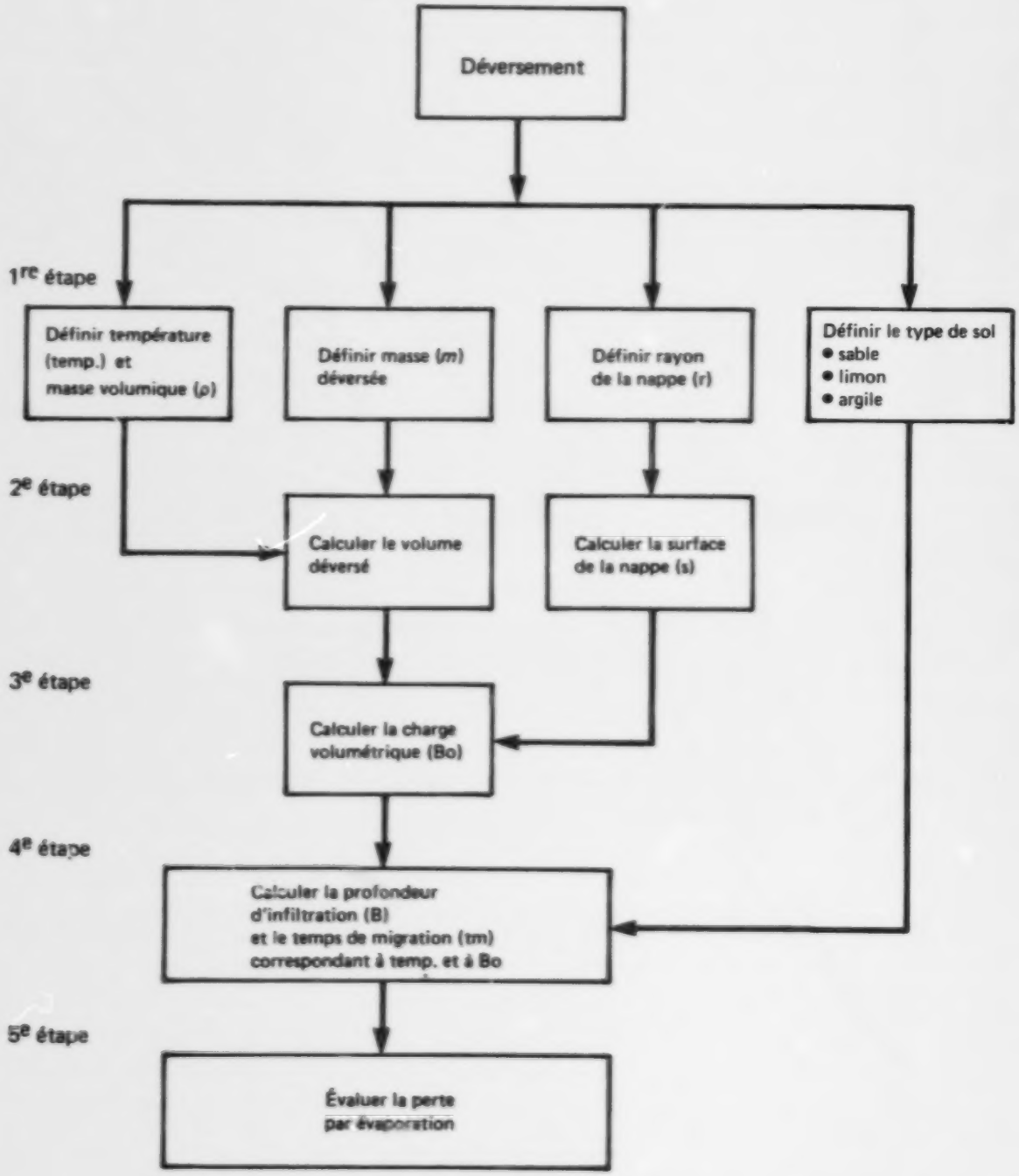


Figure 24

BENZÈNE **MIGRATION DANS DU SABLE GROSSIER**

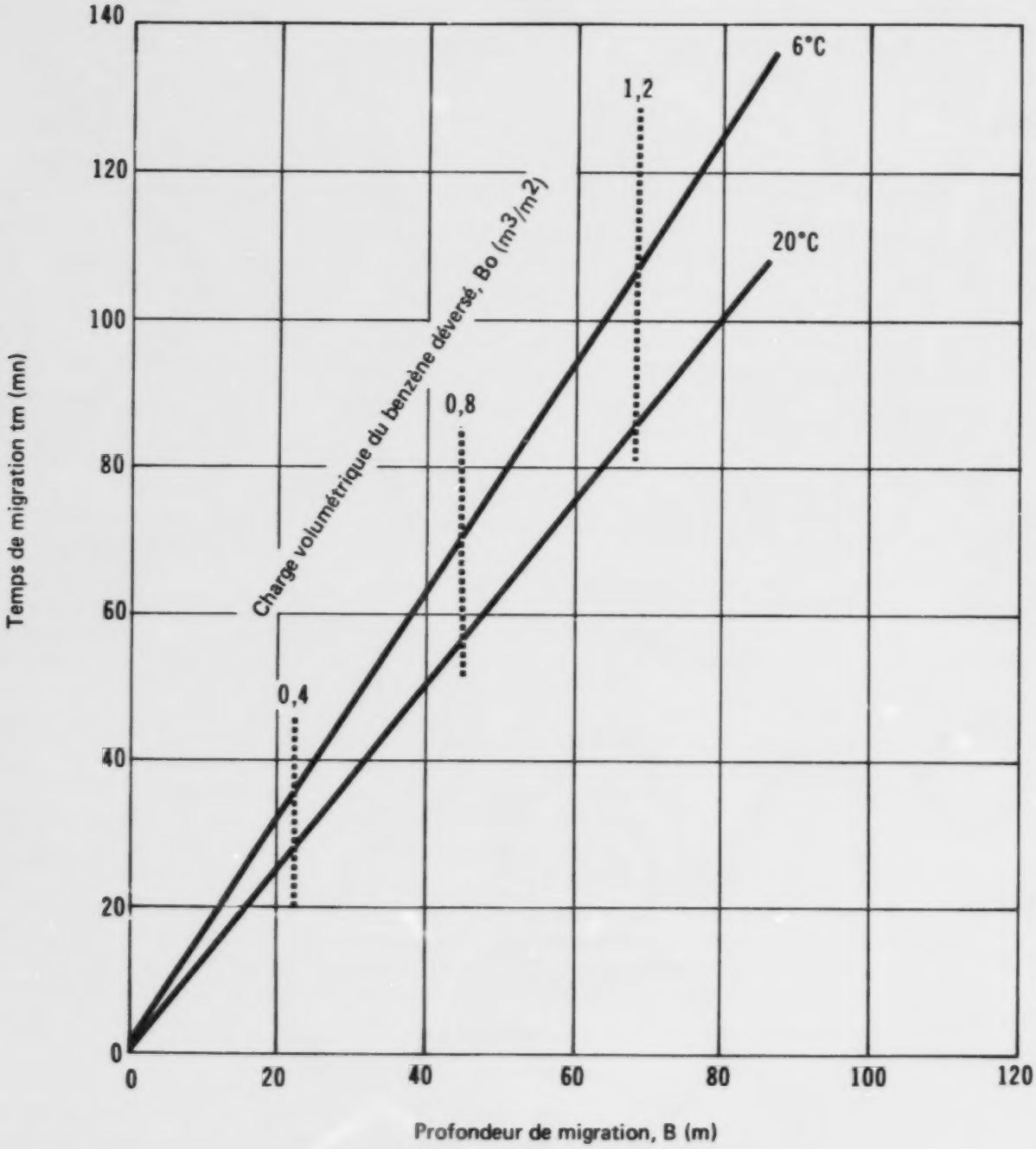


Figure 25

BENZÈNE **MIGRATION DANS DU SABLE LIMONEUX**

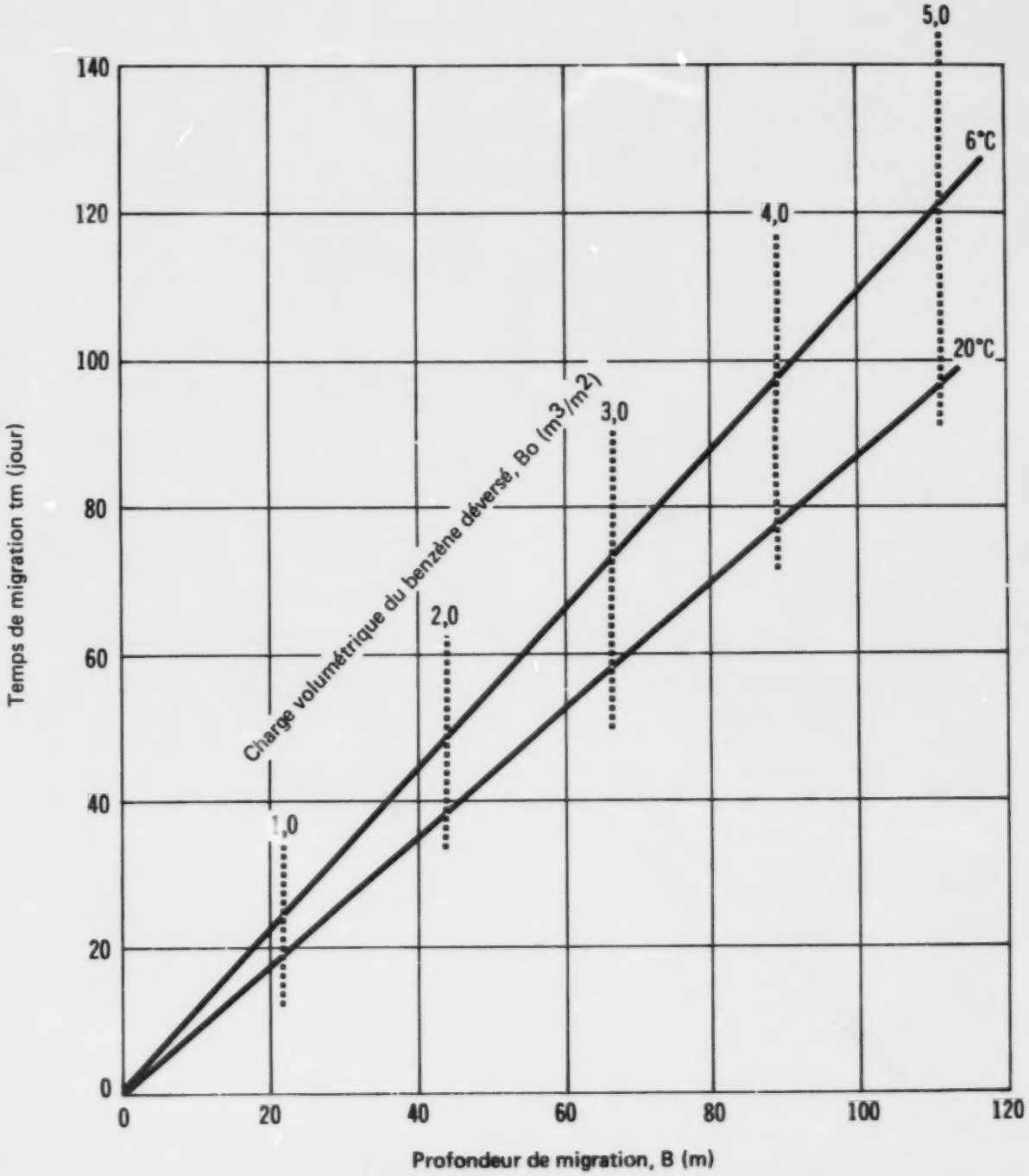
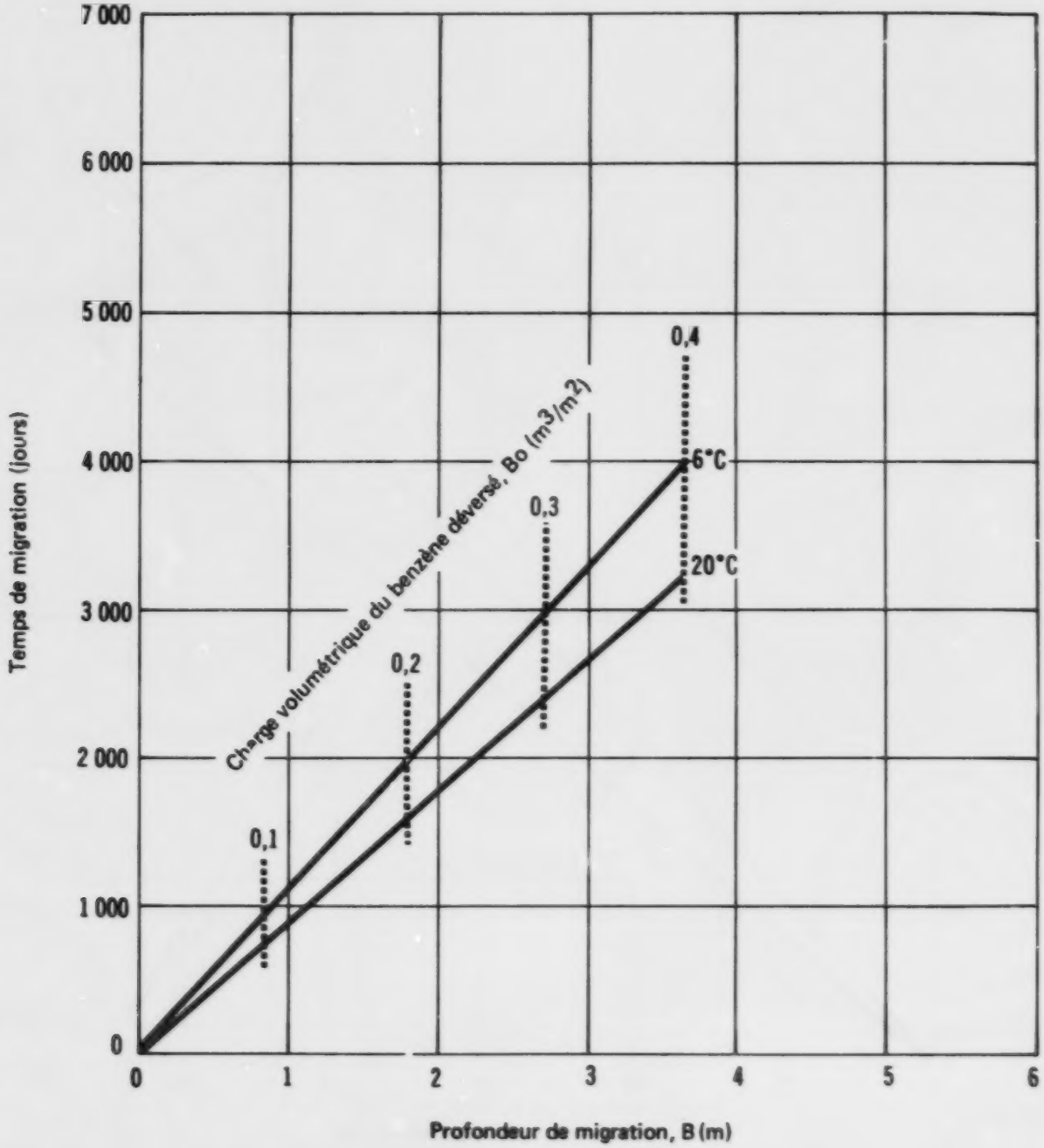


Figure 26

BENZÈNE — MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



5.5.6 Exemples de calcul. – 20 t de benzène ont été déversées sur un sol de sable grossier. La température est de 20 °C; la nappe a un rayon de 8,6 m. Calculez la profondeur et le temps de migration et évaluez la perte correspondante due à l'évaporation.

Étape n° 1

Définissez les paramètres.

Masse déversée = 20 000 kg (20 tonnes); temp. = 20 °C

Masse volumique ρ = 879 kg/m^3; r = 8,6 m

Étape n° 2

Calculez le volume et la surface de la nappe.

$$\text{Vol.} = \frac{\text{Masse}}{\rho} = \frac{2 \times 10^4 \text{ kg}}{879 \text{ kg/m}^3} = 22{,}8 \text{ m}^3$$

$$A = \pi r^2 = 232 \text{ m}^2$$

Étape n° 3

Calculez la charge volumétrique Bo.

$$\text{Bo} = \frac{\text{Vol.}}{A} = \frac{22{,}8 \text{ m}^3}{232 \text{ m}^2} = 0{,}1 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Étape n° 4

Calculez la profondeur de migration (B) et le temps de migration (tm).

Dans le cas de sable grossier, avec un Bo = 0,1 m^3/m^2, B = 6 m, tm = 7 mn

Étape n° 5

Évaluez la perte par évaporation. Utilisez la figure 14, section 5.3

Si r = 8,6 m à 20 °C, q = 500 g/s ou 0,5 kg/s

Perte par évaporation:

E = q x tm = 0,5 kg/s x 7 mn x 60 s/mn = 210 kg

6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau. – Des teneurs comprises entre 0,5 et 4,5 mg/l de benzène donnent un goût à l'eau. Dans l'eau chlorée, la toxicité et le goût du benzène peuvent se manifester à des teneurs encore inférieures (EPA-440/9-75-009). L'URSS a recommandé pour l'eau de boisson une teneur limite de 0,5 mg/l (Verschueren, 1977).

6.1.2 Qualité de l'air

6.1.2.1 Situation au Canada. – En ce qui concerne l'air, l'Ontario Environmental Protection Act de 1971 fixe une norme de qualité.

6.1.2.2 Autres milieux. – En vertu de l'article 112 du Clean Air Act (Loi sur la lutte contre la pollution atmosphérique) les États-Unis ont proposé une limite de 5 ppm en volume pour les émissions de benzène des évents des usines existantes et futures de production d'éthylbenzène et de styrène (Règlement fédéral de 1980).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité en Ontario. – Le benzène est toxique pour le poisson et, en Ontario, il lui a été assigné une TLm 50 (tolérance moyenne pour 96 heures) correspondant à 100 mg/l (WMG, 1978).

6.2.2 Évaluation de la toxicité aux États-Unis. – La tolérance moyenne pour 96 heures (TLm 96) correspond à une teneur de 10 à 100 mg/l (RTECS, 1979). La teneur limite fixée pour la protection des organismes aquatiques est de 3,1 mg/l (moyenne de 24 heures) et la teneur ne doit jamais dépasser 7 mg/l (AWQC, 1978). La limite imposée pour la protection des organismes marins est de 0,92 mg/l (moyenne de 24 heures) et la teneur ne doit jamais dépasser 2,1 mg/l (PTP, 1980).

6.2.3 Mesures de la toxicité

6.2.3.1 Toxicité en eau douce

Données sur la toxicité

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
A. – Poissons					
9,2	96	Truite arc-en-ciel	Teneur létale 50	12 °C	Johnson, 1980
425	96	Ictalure tacheté	Teneur létale 50	22 °C	Johnson, 1980
33	non connu	Ménés; cyprin-carpe	Teneur létale 50	Essai Golden Orfe	Juhnke, 1978
5,8 à 10,9	96	Bar commun (*M. Saxatilis*)	Teneur létale 50		TMAE, 1978

33,5 à 35,5	24 à 96	Tête-de-boule	TLm	Douce	Verschueren, 1977
24,4 à 32	24 à 96	Tête-de-boule	TLm	Dure	Verschueren, 1977
6 à 7	6	Ménés	Dose létale minimum	Dure	Verschueren, 1977
46	24	Cyprin doré	Dose létale 50		Verschueren, 1977
386	96	Gambusie	Dose létale 50	Déchets de goudron et de gaz, teintures et fabrication de textiles	WQCDB-1, 1970
35 à 37	96	Môle	Toxicité en 1h	Déchets de goudron et de gaz, teintures et fabrication de textiles	WQCDB-1, 1970
31 à 32	96	Crapet arlequin	TLm		Pickering, 1966
20	24 à 48	Crapet arlequin	TLm	Eau du robinet à 2 °C	QC, 1963
10	non connu	Truite	Létal		WQC, 1963
B. – Micro-organismes					
92	16	Bactérie	Toxique, inhible la multiplication des cellules	Eau bidistillée à 25 °C	Bringmann, 1980
> 1400	7 jours	Algues vertes		Eau bidistillée à 27 °C, humidité relative 50 %	Bringmann, 1980
> 700	72	Protozoaire		Eau bidistillée à 25 °C	Bringmann, 1980
525	48	Algue, (*C. vulgaris*)	50 % de réduction du nombre des cellules	TE 50, réduction à 50 % du nombre des cellules	AWQC, 1978
C. – Invertébrés					
27	96	Crevette	Teneur létale 50		TMAE, 1978
108	96	Larves de crabe (stade 1)	Teneur létale 50		TMAE, 1978
178	48	*Daphnia magna*	Teneur efficace moyenne		AWQC, 1978

6.2.3.2 Toxicité en eau salée

Données sur la toxicité

Teneur (mg/l)	Temps (h)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
A. – Poissons					
4,1	96	Bar rayé	Teneur létale 50		AWQC, 1978

0,7	144	Hareng du Pacifique (oeufs et larves)	Stress observé	Eaux du Pacifique	AWQC, 1978
Jusqu'à 10	96	Saumon coho (jeune)	Aucune mortalité importante	Eau salée artificielle	Verschueren, 1977
20 à 25	48	Anchois du Pacifique (oeufs et larves)	Teneur létale 50	Eaux du Pacifique	Struhsaker, 1974
20 à 25	48	Hareng du Pacifique (larves)	Teneur létale 50	Eaux du Pacifique	Struhsaker, 1974
B. – Invertébrés					
21	48	Crevette Artemia	TLm		Price, Waggy, 1974
450	96	Copépodes	Teneur létale 50		AWQC, 1978
27	96	*Palaemonetes vulgaris*	Teneur létale 50		AWQC, 1978
108	96	Dormeur du Pacifique (larves)	Teneur létale 50		AWQC, 1978
66	24	Crevette Artemia	Teneur létale 50		Price, Waggy, 1974
C. – Plantes aquatiques					
> 50	non connu	Dinoflagellés	Inhibition de la croissance		AWQC, 1978
20	non connu	Diatomées	Inhibition de la croissance		AWQC, 1978
50	non connu	Algues	Inhibition de la croissance		AWQC, 1978
60	96	Varech géant	Aucun effet sur l'activité photo-synthétique		WCQ, 1963

6.3 Toxicité pour d'autres organismes

6.3.1 Toxicité pour les insectes

Teneur (mg/l)	Espèce	Résultat	Source
59	Larves de moustique (quatrième instar)	DL 50	CNR, 1981
210	Charançons	DL 50	CNR, 1981

6.3.2 Toxicité pour le bétail. – Une teneur maximale de 0,25 mg/l de benzène dans un réservoir d'eau douce n'avait aucune répercussion sur les mammifères qui s'y abreuvaient quotidiennement (WQCDB-1, 1970).

6.4 Autres aspects de la toxicité dans l'air et sur le sol

6.4.1 Toxicité. – Les matières en suspension dans l'eau semblent absorber le benzène et diminuer par conséquent ses effets toxiques. Parce qu'il est possible que les oiseaux aquatiques et les animaux en ingèrent des quantités importantes aux emplacements des déversements, les flaques de benzène présentent un danger (EPA-440/9-75-009).

6.4.2 Études. – Il existe un cycle du benzène entre l'atmosphère et l'eau. Le benzène étant assez volatil et fortement soluble, il est raisonnable de croire qu'il peut être précipité de l'atmosphère avec les précipitations puis s'évaporer de nouveau dans l'atmosphère en un cycle continuel entre les deux milieux (AWQC, 1978).

La principale répercussion environnementale des benzènes est probablement leur tendance à favoriser la pollution photochimique de l'air comme le font d'autres hydrocarbures (NRC, 1981).

6.5 Études des effets

6.5.1 Organismes aquatiques. – Il a été démontré que le benzène est nuisible pour les organismes aquatiques. Une inhibition de la reproduction a été observée chez le poisson à des concentrations de benzène bien inférieures à la concentration létale. Dans l'environnement, il a été démontré que le benzène a des effets nocifs sur de nombreux échelons de la chaîne alimentaire (PTP, 1980).

De nombreuses études ont permis de conclure que presque tous les effets nocifs aigus ou chroniques du benzène pour les organismes aquatiques se produisaient à des teneurs supérieures à 20 000 µg/l (AWQC, 1978).

Dans l'eau de mer, le benzène peut interagir de façon synergique avec d'autres composés aromatiques solubles dans l'eau; l'ensemble peut avoir des répercussions plus grandes que celles du benzène seul et nuire, de ce fait, aux organismes aquatiques (Struhsaker, 1974).

6.5.2 Animaux. – Il est peu vraisemblable que le benzène ait des répercussions toxiques chroniques chez les animaux parce qu'il ne s'accumule pas dans leurs tissus et est rapidement métabolisé et excrété. Aucune étude ne semble indiquer de dommage irréversible ou persistant aux tissus après des expositions prolongées à des doses sublétales (NRC, 1981).

6.6 Dégradation

6.6.1 Dégradation biologique. – Le benzène n'est que peu soluble (0,1 p. 100) dans l'eau, est moins dense que l'eau et a une tension de vapeur élevée. Lorsqu'il y a déversement, le benzène forme des flaques incolores à la surface de l'eau; la plus grande partie du benzène s'évapore dans l'atmosphère. La demi-vie des solutions non saturées de benzène a été estimée à 37 minutes, à cause de l'évaporation. Soixante-deux pour cent du benzène s'évaporent avec le premier 0,1 p. 100 de l'eau (McKay et Walkoff, 1973).

La partie dissoute restante du benzène se biodégrade jusqu'à un certain point. L'absorption d'oxygène est lente pendant plusieurs jours (Ryckman, 1966). L'eau saturée de benzène peut retarder considérablement la digestion des boues résiduaires (EPA-440/9-75-009).

6.6.2 Demande chimique en oxygène. – La demande chimique en oxygène du benzène est de 0,82 kg/kg (EPA-12020).

6.6.3 Demande biologique en oxygène

DBO kg/kg	% théorique	Jours	Matière enrichie	Source
< 1	24	5	Eaux usées enrichies	Price, Waggy, 1974
< 1	29	20	Eaux usées enrichies	Price, Waggy, 1974
> 1	58	5	Eaux usées enrichies acclimatées	Price, Waggy, 1974
> 1	80	20	Eau usées enrichies acclimatées	Price, Waggy, 1974

D'après les valeurs de la DBO, on peut prévoir que le benzène continue de constituer un problème jusqu'à ce qu'il soit enlevé, dilué ou évaporé (OHM-TADS, 1981).

Le benzène est aussi oxydé par certains micro-organismes, spécialement certaines bactéries (Brown, 1978).

6.7 Devenir et effets à long terme

6.7.1 Bioaccumulation potentielle. – Le benzène peut s'accumuler dans un organisme, mais n'est pas susceptible de contaminer la chaîne alimentaire. Les benzènes chlorés sont plus toxiques que le benzène, donnent un goût à l'eau à de plus faibles teneurs que celui-ci et peuvent considérablement retarder la digestion des eaux usées (OHM-TADS, 1981).

6.7.2 Études. – Le benzène peut s'accumuler dans les organismes vivants et semble s'accumuler dans les tissus animaux à forte teneur en lipides constituant des sites métaboliques importants comme le foie et la cervelle (AWQC, 1978). On a constaté que le benzène et ses dérivés aliphatiques s'accumulent en 48 heures chez le poisson jusqu'à des concentrations atteignant jusqu'à 1000 fois la teneur ambiante (Objectifs de gestion de l'eau, 1978).

6.8 Effets sur le sol

6.8.1 Dégradation du benzène dans le sol. – Il n'existe aucune information sur la persistance ou le transport du benzène dans le sol. Le benzène peut être dégradé par les microbes du sol à des vitesses variant en fonction du type de sol et d'autres facteurs environnementaux. On pense que les petites quantités de benzène du sol se volatilisent ou sont dégradées assez rapidement selon leur concentration (NRC, 1981).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

Les effets toxiques de l'inhalation de benzène par des animaux de laboratoire sont abondamment rapportés dans la documentation. Il en est de même pour les effets toxiques observés chez des humains exposés au benzène pendant de longues ou de courtes durées. La documentation fait aussi mention des effets liés à l'absorption de cette substance par la peau, tant chez l'homme que chez l'animal de laboratoire. Des travaux ont été publiés sur le pouvoir tératogène, mutagène et carcinogène du benzène. Le benzène figure dans le *Second Annual Report on Carcinogens* (deuxième rapport annuel sur les carcinogènes) (DHHS, 1981) et il est mentionné dans l'Inventaire dressé par l'agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) conformément à la Loi sur les substances toxiques.

Des projets de recherche sur la toxicologie du benzène sont fréquemment rapportés dans les TOX TIPS (résumé des projets de recherche en cours), projets qui comportent des études sur les effets de l'inhalation de benzène par des animaux de laboratoire exposés pour de courtes durées et de longues durées. Les travaux publiés sur le benzène ont fait l'objet d'un examen récent (API, 1977), et les données publiées ici rendent compte de l'information déjà publiée.

Les données toxicologiques sont extraites de sources dignes de confiance. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée à de faibles teneurs, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas nécessairement dans les cas de déversements.

7.1 Normes d'exposition recommandées

Les normes d'exposition recommandées pour le benzène visent à minimiser les effets systémiques chroniques qu'il produit. Les directives des provinces, au Canada, sont généralement semblables à celles qui ont été élaborées par l'ACGIH aux États-Unis, sauf indication contraire.

Directives (temps)	Origine	Teneur recommandée	Référence
	Teneur pondérée en fonction du temps		
TLV®(8 h)	ACGIH	10 ppm (30 mg/m^3)	TLV, 1981
PEL (8 h)	OSHA	10 ppm (peau)	GE, 1978
Teneur admissible maximale	–	100 ppm	AAR, 1981
	URSS	1,5 ppm (5 mg/m^3)	Verschueren, 1977
	Suède	10 ppm	Doc. TLV, 1981
	Tschécoslovaquie	16 ppm	Doc. TLV, 1981
	Teneur admise pour de courtes durées		
STEL (15 mn)	ACGIH	25 ppm (75 mg/m^3)	Doc. TLV, 1981
Valeur plafond	OSHA	25 ppm	GE, 1978
Pointe (10 mn)	OSHA	50 ppm	GE, 1978
Teneur maximale d'immission (20 mn)	URSS	0,48 ppm (1,5 mg/m^3)	Verschueren, 1977
Teneur maximale d'immission (30 mn)	Roumanie	0,75 ppm (2,4 mg/m^3)	Verschueren, 1977
Teneur maximale d'inhalation (STIL) (30 mn)		75 ppm	CHRIS, 1978

Autres aspects de la toxicité pour l'homme

IDLH	NIOSH	2000 ppm	Guide NIOSH, 1978
Dose létale minimale		20 000 ppm	Cheremisinoff, 1979
Teneur toxique minimale (1 h)		1500 ppm	AAR, 1981
Teneur toxique minimale		210 ppm	Cheremisinoff, 1979
Teneur toxique minimale (10 ans)		100 ppm	RTECS, 1979
Dose toxique minimale		130 mg/kg	Sax, 1981

7.1.1 **Indice de toxicité par inhalation** (ITI). – Cet indice sert à mesurer les risques d'effets nocifs suite à l'inhalation d'une substance. On le calcule comme suit:

ITI = 1315,12 (tension de vapeur en mm Hg/TLV® en ppm)

Dans le cas du benzène, cela donne:

$$\text{ITI} = \frac{1315{,}12 \times 100 \text{ (tension de vapeur en mm Hg à 26 °C)}}{10 \text{ (TLV® en ppm)}} = 1{,}3 \times 10^4$$

L'ITI ne s'applique qu'à la toxicité des vapeurs et ne peut en aucun cas servir à calculer la toxicité de poussières, de solides ou d'aérosols.

7.2 Données sur les effets toxiques

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
• CHEZ L'HOMME		
Bras ou corps tout entier recouverts de vêtements en coton imbibés de benzène (20 à 30 mn)	Aucun changement apparent du rapport entre les sulfates inorganiques et les sulfates totaux dans les urines	Cesaro, 1946. Dans NIOSH, 1974
• CHEZ LE LAPIN		
Non dilué (10 à 20 applications)	Irritation légère à modérée, nécrose modérée	Patty, 1981
25 % de benzène dans de la vaseline (2 fois par semaine)	Tremblements, excitation, cachexie	Patty, 1981
15 mg (24 h)	Légère irritation	AAR, 1981
• CHEZ LE RAT		
0,6 g/kg (4 h/j pour 4 mois)	Augmentation des plasmocytes dans la moelle osseuse, interruption de la maturation érythroblastique	Patty, 1981
• CHEZ LA SOURIS		
1232 mg/kg	Dose toxique minimale	AAR, 1981
1200 mg/kg (49 maines)	Dose toxique minimale; effets néoplasiques	Sax, 1981
48 mg/kg	Dose toxique minimale	AAR, 1981
Application sur l'épiderme dorsal de souris rasées (2 ans)	Développement de plusieurs types de tumeurs légèrement au-dessus de la fréquence d'apparition spontanée; quelques papillomes	Patty, 1981
Application de 2 ml (3 fois par j pendant 3 j)	Hyperplasie de l'épiderme avec invasion au niveau neural	Patty, 1981

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
• CHEZ LE LAPIN		
88 mg (72 h)	Irritation modérée	AAR, 1981
2 mg (24 h)	Forte irritation	Sax, 1981
0,10 ml	Irritation; irritation modérée des conjonctives, lésion passagère de la cornée	Patty, 1981
• CHEZ LE RAT		
50 ppm (600 h)	50 % des animaux souffraient de cataracte aux deux yeux; on n'a pas observé de cataracte chez les rats exposés à 200 ppm de benzène pendant 750 h	MOE, 1978

7.3 Seuil de perception des caractères organoleptiques

7.3.1 **Odeur.** – Semblable à celle de l'essence; nature de l'odeur: aromatique (AAR, 1981). Valeur du seuil de perception: 300 (AAR, 1981).

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Seuil olfactif	air	3 à 5 ppm	CSC, 1980
	air	4,68 ppm	MOE, 1978
Détection à 50 %	air	2,14 ppm	Little
Détection à 100 %	air	4,68 ppm	Little
	air	0,875 ppm	Cheremisinoff, 1979
		0,042 ppm (vol.) et $0{,}13 \times 10^{-3}$ mg/l 1,5 ppm (vol.) et $0{,}48 \times 10^{-2}$ mg/l	USDHEW, 1967
Seuil inférieur	air	0,84 ppm	OHM – TADS, 1981
Seuil moyen	air	31,3 ppm	OHM – TADS, 1981
Seuil supérieur	air	53 ppm	OHM – TADS, 1981
Seuil de perception	air	180 mg/m^3, 3,0 ppm 4,68 ppm et 60 ppm	Sullivan, 1969
Teneur d'odeur du seuil	–	0,16 à 320 ppm	AAR, 1981
Seuil de détection absolu	–	0,160 ppm	AAR, 1981
Seuil de détection moyen	–	11,8 ppm	AAR, 1981
Seuil de détection supérieur	–	65,1 ppm	AAR, 1981
Seuil d'identification par la population	–	2,14 à 4,68 ppm	AAR, 1981

7.3.2 Goût

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Seuil gustatif inférieur	–	0,5 ppm	OHM – TADS, 1981

7.4 Études à long terme

7.4.1 Inhalation

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
	A. Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
20 000 ppm (5 mn)	Dose toxique minimale, convulsions, paralysie, coma et mort	Cheremisinoff, 1979
7500 ppm (30 à 60 mn)	Effets toxiques	Flury, 1928. Dans NIOSH, 1974
3000 ppm (brève période)	Irritation des yeux et des voies respiratoires	CSC, 1980
3000 ppm (30 à 60 mn)	Tolérable pendant 1 h au plus	Patty, 1981
1500 ppm (1 h)	Teneur toxique minimale, graves effets	AAR, 1981
500 à 250 ppm	Nausée, étourdissements et/ou confusion mentale	Cheremisinoff, 1979
500 à 200 ppm	Vertiges, somnolence, maux de tête et nausées	CSC, 1980
210 ppm	Teneur toxique minimale, modification de la formule sanguine, effets toxiques	Cheremisinoff, 1979
200 à 100 ppm (8 h)	Rapport entre les sulfates inorganiques et les sulfates totaux dans les urines inférieur à 40 %	Doull, 1980
100 ppm (5 h)	En moyenne, rétention de 46 % du benzène inhalé; 12 % éliminé par les poumons, 0,1 à 0,2 % excrété non métabolisé dans l'urine, 29 % transformé et excrété à l'état de phénol, 2,9 % en pyrocatéchol et 1 % en hydroquinone	Teisinger, 1952. Dans NIOSH, 1974
100 à 75 ppm (8 h)	Rapport entre les sulfates inorganiques et les sulfates totaux dans les urines se situant aux alentours de 40 %	Doull, 1980
75 à 40 ppm (8 h)	Rapport entre les sulfates inorganiques et les sulfates totaux dans les urines se situant aux alentours de 60 %	Doull, 1980
25 ppm (2 h)	Présence de benzène dans le sang, plus décelable après 5 h; aucun effet toxique	Patty, 1981
• CHEZ LE COBAYE		
15 675 ppm (50 mg/l) (30 mn)	Benzène dans le sang, 8 mg de phénol/100 ml, retour à la normale	Patty, 1981
6270 ppm (20 mg/l) (30 mn)	Benzène dans le sang, 1,7 mg de phénol/100 ml, retour à la normale	Patty, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
35 000 à 45 000 ppm		
(3,7 mn)	Légère anesthésie	Carpenter, 1944. Dans APE, 1977
(5,0 mn)	Excitation et tremblements	
(6,5 mn)	Abolition du réflexe pupillaire sous fort éclairement	
(11,4 mn)	Abolition du réflexe de clignement lors de stimuli brusques	
(12 mn)	Contraction des pupilles	
(15,6 mn)	Clignement involontaire des yeux	
(36,2 mn)	Mort (mortalité enregistrée entre 22 et 71 mn)	

10 000 ppm	Mort	Patty, 1981
10 000 ppm (2 h)	Le benzène dans le sang a atteint 25 à 30 mg/100 ml, ce qui a provoqué une diminution des globules rouges, et une augmentation de la résistance des globules rouges lors d'hémolyse par saponines	API, 1977
4000 ppm	Narcose	Patty, 1981
3333 mg/m^3	DL 50	OHM-TADS, 1981
• CHEZ LE CHIEN		
45 800 ppm	Dose létale	Patty, 1981
• CHEZ LE CHAT		
53 300 ppm	Dose létale	Patty, 1981
170 000 mg/m^3	Teneur létale minimale	AAR, 1981
• CHEZ LE RAT		
Vapeur saturée (5 mn)	Mort	AAR, 1981
40 000 ppm (20 à 35 mn)	3 des 8 rats Long Evans mâles sont morts	Cheremisinoff, 1979
16 000 ppm (4 h)	DL 50	AAR, 1981
13 700 ppm	DL 50, forte congestion du foie et des poumons	AAR, 1981
10 000 ppm (7 h)	DL 50	Cheremisinoff, 1979
10 000 ppm (12,5 à 30 mn)	2 rats mâles Long Evans sur 10 sont morts	Cheremisinoff, 1979
10 000 ppm (jusqu'à 2 h)	Dyspnée, contraction des moustaches et ataxie, hyperactivité lors de stimulus sonore, queue rigide et spasme carpo-pédal à la trentième minute, salive abondante, peau plus froide qu'à l'accoutumée	MOE, 1978
• CHEZ LA SOURIS	Modification de l'activité enzymatique dans la	Jonek, 1965. Dans
60 mg/l (40 mn)	moelle épinière	API, 1977
9980 ppm	TL 50	Patty, 1981
2195 ppm	Narcose	Patty, 1981

B. Exposition de longue durée

• CHEZ L'HOMME		
5320 ppm	60 travailleurs sur 184 souffraient d'empoisonnement chronique par le benzène, de maux de tête, fatigue, épuisement, saignements des gencives et du nez, hémorrhagies cutanées aux bras et aux jambes, nervosité, vertiges, somnolence, douleurs cuisantes aux yeux, palpitations, dyspepsie, nausées, vomissements, perte d'appétit et amaigrissement, démangeaisons et dermites	Helmer, 1944. Dans NIOSH, 1974
2100 mg/m^3	Effets toxiques et cancérogènes	Cheremisinoff, 1979
1060 à 11 ppm (4 à 7 j/semaines, pendant 3 à 54 ans)	Teneur la plus faible: fatigue et étourdissements. Teneur moyenne: fatigue, sécheresse des muqueuses, hémorrhagies, nausées ou vomissements et abattement. Teneur la plus forte: faiblesse, fatigue, épistaxis, sécheresse des muqueuses, perte d'appétit, nausées ou vomissements, essoufflement, étourdissements, insomnie et abattement	Patty, 1981
660 à 190 ppm (4 ans)	Insuffisance de formation des éléments figurés du sang, métaplasie myéloïde du foie et de la rate, mort	Vigliani, 1964. Dans NIOSH, 1974

650 à 150 ppm (4 mois à 15 ans)	Pancytopénie réversible, thrombopénie (28), anémie macrocytaire (14), dysérythropoïèse (3)	Patty, 1981
525 à 125 ppm	Plus grande prévalence d'aberrations chromosomiques dans les lymphocytes circulants	Patty, 1981
500 à 200 ppm	Apparition de leucémie chez un nombre anormal d'ouvriers dans une fabrique de chaussures	Cheremisinoff, 1979
400 ppm (8 ans, par intermittence)	Teneur toxique; suspecté d'être oncogène	AAR, 1981
210 à 30 ppm (3 mois à 17 ans)	Leucopénie observée chez 9,7 % des sujets, pancytopénie chez 2,8 %, éosinophilie chez 2,3 %, thrombocytopénie chez, 1,8 %, basophilie chez 0,5 %, macrothrombocytes présents chez 0,5 %; l'anémie était réversible	Patty, 1981
210 ppm	Teneur toxique minimale; tous les éléments du sang ont été affectés	Sax, 1981
Supérieure à 200 ppm	Mort	Doc. TLV, 1981
105 ppm	Anomalies hématologiques et un décès	Doc. TLV, 1981
100 ppm (10 ans)	Teneur toxique minimale, système nerveux central affecté, effets toxiques	RTECS, 1979
100 ppm (pendant les heures de travail)	Leucopénie, maux de tête, fatigue, essoufflement, 20 % des sujets présentaient une pancytopénie plus ou moins prononcée	Cheremisinoff, 1979
100 ppm (10 ans)	Cancérogène	AAR, 1981
60 ppm	Plus faible teneur létale signalée	Doc. TLV, 1981
25 ppm (pendant les heures de travail)	Taux d'hémoglobine inférieur, déviations hématologiques mineures	Cheremisinoff, 1979
• CHEZ LE PRIMATE		
256 ppm (98 mg/m^3, 8 h/j, 5 j/semaine, pendant 9 à 127 j)	Histopathologie négative de tous les organes essentiels; léger amaigrissement chez quelques sujets soumis à la plus longue exposition	Patty, 1981
Air saturé de vapeur de benzène	Extrasystole ventriculaire ou périodes de tachycardie ventriculaire dégénérant occasionnellement en fibrillation ventriculaire	Patty, 1981
• CHEZ LE COBAYE		
817 ppm (8 h/j, 5 j/semaine, 30 jours d'exposition)	Aucune modification de la numération leucocytaire; légère diminution des globules blancs	Jenkins, 1970. Dans API, 1977
88 ppm (269 j)	Altérations histopathologiques du sang, de la moelle osseuse, de la rate et des testicules	Cheremisinoff, 1979
88 ppm (23 expositions en 32 jours)	Légère leucopénie	API, 1977
88 à 80 ppm (6 mois)	Légère leucopénie, dégénérescence de la rate et des testicules	Wolf, 1956. Dans API, 1977
7 et 30 ppm (8 h/j, 5 j/semaine, 9-127 j)	Histopathologie essentiellement négative de tous les organes, léger amaigrissement à la teneur la plus élevée	Patty, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
12 000 ppm (1 h/j, plusieurs j)	La cornée a pris un aspect grisâtre; irritation transitoire mais assez persistante	Patty, 1981
3000 ppm (40 j)	Leucopénie	API, 1977

88 à 80 ppm (6 mois)	Légère leucopénie, dégénérescence de la rate et des testicules	Wolf, 1956. Dans API, 1977
80 ppm (175 j)	Leucopénie	API, 1977
80 ppm (243 j)	Leucopénie et dégénérescence des tubes séminifères	Cheremisinoff, 1979
15,6 ppm	Diminution de l'indice phagocytaire et baisse des phagocytes	Cheremisinoff, 1979
3,125 ppm (6 h/j, 14 j)	Hypertrophie du réticulum endoplasmique lisse, déperdition en ribosomes, disparition de la distention des segments de l'ergastoplasme, gonflement des mitochondries et dégénération de la myéline des mitochondries	Cheremisinoff, 1979
• CHEZ LE CHIEN		
1100 à 750 ppm (4 à 110 semaines, 5 à 8 h/j, 4 à 6 j/semaines)	Leucopénie, diminution des leucocytes, décès de 7 des 9 chiens étudiés	Jenkins, 1970. Dans API, 1977
1000 à 600 ppm (123 semaines)	Leucopénie, temps de survie plus court	Hough, 1944 dans API, 1977
800 à 500 ppm (2 à 8 h/j, 24 à 410 j)	La teneur en benzène dans le sang était 5 à 6,5 fois plus élevée après l'exposition	Patty, 1981
30 ppm (8 h/j, 5 j/semaines, 9 à 127 j)	Histopathologie de tous les organes essentiellement négative, léger amaigrissement chez quelques sujets le plus longtemps exposés	Patty, 1981
• CHEZ LE CHAT		
Air saturé de vapeurs de benzène	Extrasystole ventriculaire ou périodes de tachycardie ventriculaire dégénérant parfois en fibrillation ventriculaire	Patty, 1981
• CHEZ LE RAT		
9400 ppm (7 à 8 h/j, 5 j/semaines, 6 mois)	Modifications histopathologiques du foie, modifications de la moelle osseuse	Patty, 1981
8500 ppm (6 h/j, 10 j)	Modifications enzymatiques des leucocytes circulants, diminution des lymphocytes, lymphocytes granuleux	Patty, 1981
6600 ppm (7 à 8 h/j, 5 j/semaines, 6 mois)	Modifications histopathologiques du foie et modifications de la moelle osseuse	Patty, 1981
4400 ppm (7 à 8 h/j, 5 j/semaines, 6 mois)	Narcose et ralentissement de la croissance	Patty, 1981
2200 ppm (7 à 8 h/j, 5 j/semaines, 6 mois)	Narcose et ralentissement de la croissance	Patty, 1981
1650 ppm (6 h/j, 5 j/semaines, 12 semaines)	Leucopénie, combattue partiellement par le phénobarbital	Patty, 1981
1000 ppm (23,5 h/j, 183 h)	Baisse des leucocytes, diminution de l'ADN dans la moelle osseuse, et augmentation des précurseurs des hématies	MOE, 1978
1000 ppm (23,5 h/j, 105 h)	Perte de poids, hémorrhagies du nez et de la bouche, distension de l'estomac, engorgement des vaisseaux sanguins, inversion du rapport entre les granulocytes et les lymphocytes	Cheremisinoff, 1979

1000 ppm (7 h/j, 5 j/semaines, 28 semaines)	Aucune dépression du système nerveux central, bonne condition physique, numération leucocytaire presque égale à la valeur initiale	Gofmekler, 1968. Dans API, 1977
831 ppm (2 à 3 semaines)	Leucopénie importante	Doull, 1980
817 ppm (8 h/j, 5 j/semaines, 30 expositions/j)	Baisse des leucocytes, numération leucocytaire légèrement en baisse	Jenkins, 1970. Dans API, 1977
450 à 500 ppm (5 h/j, 10 j)	Activation du cytochrome P450 et de l'aminopyrine-déméthylase	Cheremisinoff, 1979
400 ppm (19 inspirations/j, 36 j)	Signes de légère anémie du sang périphérique, leucocytose, thrombopénie, taux anormalement élevé de réticulocytes. Disparition progressive des cellules hématopoïétique de la moelle osseuse	Boje, 1970, dans API, 1977
400 ppm (13 semaines)	Augmentation des thrombocytes, leucopénie, diminution des granulocytes segmentés	Patty, 1981
209,7 ppm	Infécondité	Gofmekler, 1968. Dans API, 1977
19,8 ppm	Résorption de 1/10 chez les embryons étudiés	
6,4 ppm 1,8 ppm 0,3 ppm (exposition ininterrompue pendant les 10 à 15 j qui ont précédé la fécondation)	Le nombre des naissances par femelle était inversement proportionnel à la teneur en benzène	
200 ppm (8 h/j, 5 j/semaines, 90 j)	Leucopénie	Cheremisinoff, 1079
158 ppm (4 h/j)	Leucopénie et chronaxie antagoniste musculaire	Cheremisinoff, 1979
94 ppm (5,5 h/j, 30 j)	Augmentation de l'acide α-amino-butyrique, teneur diminuée dans le cervelet mais pas dans le mésencéphale, diminution de l'acide aspartique et de l'acide glutamique dans ces deux viscères	
88 ppm (136 expositions en 204 j)	Légère leucopénie chez les rats mâles	Wolf, 1956. Dans API, 1977
88 ppm (204 j)	Modifications histopathologiques du sang, de la moelle osseuse, de la rate et des testicules	Cheremisinoff, 1979
65 à 61 ppm (2 à 4 semaines)	Leucopénie	Deichmann, 1963. Dans API, 1977
47 à 44 ppm (5 à 8 semaines)	Leucopénie modérée mais irréversible	Deichmann, 1963. Dans API, 1977
44 ppm (7 h/j, 5 j/semaines, 5 à 7 semaines)	Leucopénie chez les rats adultes âgés et légère leucopénie chez les rats adultes jeunes	Cheremisinoff, 1979
20 ppm (6 h/j, 6 j/semaines, 5,5 mois)	Retard dans l'apparition du réflexe conditionné	MOE, 1978
17 ppm (8 h/j, 5 j/semaines, 9 à 127 jours)	Histopathologie essentiellement négative de tous les organes, léger amaigrissement chez les sujets le plus longuement exposés	Patty, 1981
4,8 ppm sans interruption	Hyperplasie et vacuolisation du réticulum lisse, destruction sélective des cellules basales olfactives	Patty, 1981
• CHEZ LA SOURIS		
24 mg/l (6 h/j, 14 j)	Diminution marquée de l'activité de la phosphatase alcaline dans le foie	Jonek, 1968. Dans API, 1977

24 mg/l (6 h/j, 14 j)	Les coupes du foie présentaient des modifications de l'activité de la succinate-déshydrogénase et de la lactico-déshydrogénase, de la glucose-6-phosphate-déshydrogénase et de la NADH-tétrazole-réductase	Jonek, 1969. Dans API, 1977
100 ppm (6 h/j, 20 j)	Diminution du déplacement spontané dans la cage au 5e jour	MOE, 1978

7.4.2 Ingestion

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
	A. Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
130 mg/kg	Dose toxique minimale, système nerveux central affecté	Sax, 1981
12 à 9 g	Démarche titubante, vomissements, somnolence, pouls faible et filiforme, perte de connaissance, delirium, pneumonie chimique, syncope et dépression brusque du système nerveux central	Patty, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
300 à 150 mg/kg	L'exposition au benzène froid et radioactif n'a produit aucun effet nocif	Patty, 1981
• CHEZ LE CHIEN		
2,00 g/kg	Plus faible dose létale signalée	Patty, 1981
• CHEZ LE RAT		
5,6 g/kg	DL 50	Cheremisinoff, 1979
4,9 g/kg	DL 50	Cheremisinoff, 1979
3800 mg/kg	DL 50	Sax, 1981
3,4 g/kg	DL 50 pour un jeune adulte	Cheremisinoff, 1979
3400 mg/kg	DL 50 et teneur toxique minimale	AAR, 1981
3000 mg/kg	DL 50	AAR, 1981
5,6 ml/kg	DL 50, paralysie des pattes arrière, hémorragies pétéchiales dans les voies urinaires, les yeux et le nez, légère gastrite et abrasion du revêtement épithélial de la section glandulaire de l'estomac, chez des rats adultes âgés	Witney, 1975. Dans API, 1977
1,6 ml/kg (3 j)	Augmentation du poids du foie, diminution de la masse protéinique et des activités enzymatiques	Patty, 1981
1,0 ml/kg	DL 50 pour les rats nouveau-nés	API, 1977
• CHEZ LA SOURIS		
4700 mg/kg	DL 50	Cheremisinoff, 1979
	B. Exposition de longue durée	
• CHEZ LE COBAYE		
9 mg/kg/j (6 mois)	Légère leucopénie, dégénérescence de la rate et des testicules	Gerarde, 1956. Dans API, 1977
• CHEZ LE LAPIN		
1 mg/kg (6 mois)	Légère leucopénie, dégénérescence de la rate et des testicules	Patty, 1981
• CHEZ LE RAT		
10 000 mg/kg (14 j)	DL 50	AAR, 1981

9,0 mg/kg plus 6,63 mg/m^3 (100 j)	Apparition très rapide d'effets de sensibilisation et d'effets nocifs (ingestion et inhalation combinées)	Patty, 1981
1,5 mg/kg plus 0,51 mg/m^3 (100 j)	Apparition d'une sensibilisation entre 30 et 40 jours (ingestion et inhalation combinées)	Patty, 1981
250 mg/l plus 10 mg/m^3 (20 j)	Modifications temporaires des numérations leucocytaires et de l'activité cholinestérasique (ingestion et inhalation combinées)	Patty, 1981
250 mg/l (40 à 50 j)	Modifications temporaires des numérations leucocytaires et de l'activité cholinestérasique	Patty, 1981
100 mg/kg/j (187 j)	Leucopénie et érythropénie	Patty, 1981
50 mg/kg/j (187 j)	Leucopénie et érythropénie	Patty, 1981
10 mg/kg/j (187 j)	Très légère leucopénie	Patty, 1981
1 mg/kg/j (187 j)	Aucun effet	Patty, 1981
1 mg/kg/j (6 mois)	Légère leucopénie, dégénérescence de la rate et des testicules	Gerarde, 1956. Dans API, 1977

7.4.3 Voie sous-cutanée

Exposition (dose et durée)	Effets	Référence
• CHEZ LE COBAYE		
530 mg/kg	Plus faible dose létale	Cheremisinoff, 1979
0,527 g/kg	Dose létale	Patty, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
2 ml/kg	Forte inhibition de la synthèse de l'ADN dans la moelle osseuse	Moeschlin, 1967. Dans API, 1977
1 ml/kg	Diminution de la production d'agglutinines et d'opsonines hémolytiques	Simonds, 1915. Dans API, 1977
1 ml/kg/j	Le tissu myéloïde était plus lésé que le tissu lymphadénoïde. Aplasie des deux tissus suite à des injections répétées	Selling, 1916. Dans API, 1977
0,5 ml/kg (tous les deux jours pendant 60 j)	Diminution du pouvoir complémentaire du sérum proportionnelle à la dose	Raddi, 1963. Dans API, 1977
0,5 ml/kg/j (3 à 4 semaines,	Diminution des leucocytes du sang circulant	Patty, 1981
0,5 ml/kg/j (2 à 3 semaines)	Diminution des leucocytes du sang circulant, diminution de la chaîne respiratoire mitochondriale	Patty, 1981
0,5 ml/kg/j	Stimulation initiale de l'hématopoïèse des pseudo-éosinophiles, augmentation des promyélocytes et myélocytes médullaires	Patty, 1981
0,3 ml/kg/j (1 à 9 semaines)	Pancytopénie, hypoplasie de la moelle osseuse avec forte inhibition de la synthèse de l'ADN	Patty, 1981
0,2 ml/kg/j	Aberrations chromosomiques (brèches, ruptures, cassures chromosomiques) des cellules de la moelle osseuse	Kissling, 1972. Dans API, 1977
0,1 ml/kg/j (13 mois)	Augmentation de l'hématopoïèse des pseudo-éosinophiles	Patty, 1981
0,05 à 0,1 mg/kg/semaine (2 ans)	Apparition rapide d'autoanticorps dans le plasma	Alekseeva, 1969. Dans API, 1977

• CHEZ LE RAT		
1150 mg/kg	DL 50	Cheremisinoff, 1979
1 g/kg (12 j)	Analyse chromosomique pendant la métaphase: rupture de la chromatine: 50,9 % ; lacunes: 44,7 % ; rupture de l'isochromatine: 4,34 %	Patty, 1981
200 mg/kg/j (12 j)	Modifications chromosomiques dans la moelle osseuse	Dobrokhtov, 1972. Dans API, 1977
0,2 g/kg (12 j)	Lymphopénie; avec du toluène, augmentation des polynucléaires neutrophiles et des granulocytes neutrophiles bacillonucléaires	Patty, 1981
1 à 2 ml/kg (3 semaines)	L'activité de la catalase est tombée entre 60 et 80 % de la valeur de référence, en 10 jours, et a nettement chuté en 3 semaines	Hasegawa, 1959. Dans API, 1977
2 ml/kg	Aberrations chromosomiques de la chromatide (cellules de la moelle osseuse)	Philip, 1970. Dans API, 1977
2 ml/kg (21 j)	Lésions cellulaires, gonflement des mitochondries, forte dilatation des membranes du réticulum endoplasmique rugueux et lisse; cellules hématopoïétiques désintégrées	Patty, 1981
2 ml/kg/j (3 semaines) ou 1 ml/kg/j (5 semaines)	Diminution rapide des cellules nucléées dans la moelle du fémur et du pourcentage en phosphore de l'ADN (en poids sec de moelle osseuse)	Patty, 1981
1 ml/kg/j (14 j)	Leucopénie, aucune modification significative de l'hématocrite	Patty, 1981.
1 ml/kg	Diminution de la production de précipitine et de lysine spécifiques	Hektoen, 1916. Dans API, 1977
1 ml/kg (14 j)	Leucopénie	Gerarde, 1966. Dans API, 1977
1 ml/kg (14 j)	Leucopénie sans modification significative de l'hématocrite, involution de la rate et du thymus et diminution des cellules nucléées et de l'acide nucléique dans la moelle du fémur, toutefois réversibles	Gerarde, 1956. Dans
• CHEZ LA SOURIS		
2,70 g/kg	Effets tératogènes	DHHS, 1980
2,20 g/kg	Inhibition à 50 % des érythrocytes du sang circulant	Patty, 1981
2200 à 440 mg/kg	Une utilisation moindre du ^{59}Fe a précédé la diminution des leucocytes totaux ou de l'hématocrite	Lee, 1973. Dans API, 1977
600 mg/kg (17 semaines)	Dose toxique minimale, soupçonné d'être oncogène	Sax, 1981
468 mg/kg	DL 50	Cheremisinoff, 1979
0,44 g/kg	Inhibition à 27 % des érythrocytes du sang circulant	Patty, 1981
0,088 g/kg	Aucun effet	Patty, 1981
3 ml/kg (5 j, du 11^{e} au 15^{e} jour de gestation)	Fente palatine, agnathie et microagnathie observées plus fréquemment chez les souris gravides auxquelles on avait injecté du benzène le 13^{e} jour de la gestation	Watanabe, 1970. Dans API, 1977

0,5 ml/kg (2 fois/j, 1 à 10 j)	Fixation dans le foie proportionnelle à la dose absorbée; augmentation progressive des résidus; fixation initiale dans la moelle osseuse, dissociation après 6 jours	Patty, 1981
0,1 à 0,025 ml (54 semaines, 104 semaines)	Aucun effet cancérogène	Patty, 1981
0,06 à 0,015 ml (54 semaines)	Aucune leucémie observée chez les souris C57BL/6N sacrifiées à la 104^{e} semaine	Ward, 1975. Dans API, 1977
0,001 ml (chaque semaine jusqu'au décès)	Aucun effet leucémigène ou aplasique apparent	Amiel, 1960. Dans API, 1977
0,001 ml (chaque semaine)	État «préleucémique» des ganglions lymphatiques de la rate et du foie	Hamaguti, 1938. Dans API, 1977
0,001 ml (chaque semaine)	6 des 20 souris leucémiques de souche F ont développé une leucémie, comparativement à 29 des 212 témoins	Kirschbaum, 1942. Dans API, 1977
0,001 ml dans 0,1 ml	8 souris sur 33 ont développé un lymphoblastome cutané. Effets leucémiques orablastiques observés chez 6 souris de souches AKR, DBA/Z, C3H et C57BL	Lignac, 1932 dans API, 1977

7.4.4 Voie intrapéritonéale

Dose injectée	Effets	Référence
• CHEZ LE COBAYE		
0,01 ml ou 0,03 ml	Une petite dose (0,01 ml) de benzène injectée avant les antigènes augmentait la réactivité à la deuxième dose d'antigènes tandis qu'une plus forte dose (0,03 ml) de benzène la diminuait	Schiff, 1914. Dans API, 1977
527 mg/kg	Dose létale minimale	Sax, 1981
• CHEZ LE RAT		
1150 mg/kg	Dose létale minimale	Sax, 1981
• CHEZ LA SOURIS		
468 mg/kg	Dose létale minimale	RTECS, 1979
0,990 mg/kg	Dose létale minimale	AAR, 1981
900 µg/kg	Dose létale minimale	Sax, 1981

7.4.5 Cancérogénicité, mutagénicité et tératogénicité

Exposition (teneur et durée	Effets	Référence
• CHEZ L'HOMME		
2100 mg/m^{3}	Effets toxiques et cancérogènes	Cheremisinoff, 1979
525 à 125 ppm	Certaines aberrations chromosomiques plus prononcées chez les lymphocytes du sang périphérique	Patty, 1981
500 à 200 ppm	Leucémie chez un nombre anormal d'ouvriers travaillant dans une fabrique de chaussures	Cheremisinoff, 1979
100 ppm (10 ans)	Effets cancérogènes	AAR, 1981
< 10 ppm	Aucun risque d'effet tératogène	Gulf, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
2 ml/kg	Forte inhibition de la synthèse de l'ADN dans la moelle osseuse	Moeschlin, 1967. Dans API, 1977

0,3 ml/kg/j (1 à 9 semaines)	Pancytopénie, hypoplasie de la moelle osseuse avec forte inhibition de la synthèse de l'ADN	Patty, 1981
0,2 ml/kg/j (18 semaines)	Aberrations chromosomiques (brèches, ruptures, cassures) dans les cellules de la moelle osseuse	Kissling, 1972. Dans API, 1977
• CHEZ LE RAT		
2 ml/kg/j (3 semaines) ou 1 ml/kg/j (5 semaines)	Diminution rapide des cellules nucléées de la moelle du fémur et du pourcentage en phosphore de l'ADN (en poids sec de moelle osseuse)	Patty, 1981
1,23 à 0,71 g/kg	DL 50 pour les femelles gravides	Cheremisinoff, 1979
1 g/kg (12 jours)	Analyse chromosomique à la métaphase; cassures de la chromatide: 50,9 %; brèches: 44,7 %; cassures de l'isochromatide: 4,34 %	Patty, 1981
200 mg/kg/j (12 j)	Modifications chromosomiques des cellules de la moelle osseuse	Dobrokhtov, 1972. Dans API, 1977
1 mg/kg (12 jours)	Dommages chromosomiques à 50,94 % des cellules de la moelle osseuse	Patty, 1981
• CHEZ LA SOURIS		
3 ml/kg (voie sous-cutanée) (15 j, du 11^{e} au 15^{e} jour de gestation)	Fente palatine, agnathie et microagnathie observées plus fréquemment chez les souris gravides auxquelles on avait injecté du benzène le 13^{e} jour de la gestation	Watanabe, 1970. Dans API, 1977
3100 mg/m^{3}	Effets cancérogènes	Cheremisinoff, 1979
2,70 g/kg	S'est avéré tératogène	DHHS, 1981
100 ppm (10 ans)	Cancérogène	AAR, 1981
0,025 à 0,1 ml (54 semaines, 104 semaines)	Aucun effet cancérogène	Patty, 1981
0,015 à 0,06 ml (54 semaines)	Aucune leucémie apparente chez les souris C57BL/6N sacrifiées à la 104^{e} semaine	Ward, 1975. Dans API, 1977
0,001 ml (chaque semaine jusqu'au décès)	Aucun effet leucémigène ou aplasique observé	Amiel, 1960. Dans API, 1977
0,001 ml (chaque semaine)	État «préleucémique» des ganglions lymphatiques, de la rate et du foie	Hamaguti, 1938. Dans API, 1977
0,001 ml (chaque semaine)	6 des 20 souris leucémiques de souche F ont développé une leucémie, comparativement à 29 des 212 témoins	Kirschbaum, 1938. Dans API, 1977
0,001 ml dans 0,1 ml d'huile d'olive (17 à 21 semaines)	8 souris sur 33 ont développé des lymphoblastomes cutanés; effets leucémiques orablastiques observés chez 6 souris souches AKR, DBA/Z, C3H et C57BL	Lignac, 1932. Dans API, 1977

7.5 Symptômes

7.5.1 Inhalation

1. Excitation, hilarité, excitation nerveuse (Cheremisinoff, 1979)
2. Légère irritation transitoire des voies respiratoires et digestives (Patty, 1981)
3. Maux de tête (Cheremisinoff, 1979)
4. Bourdonnement d'oreilles (acouphène) (Cheremisinoff, 1979)
5. Insomnie, fatigue, irritabilité (Cheremisinoff, 1979)
6. Nausées (Cheremisinoff, 1979)
7. Perte de l'appétit (anorexie) (Cheremisinoff, 1979)

8. Vertiges (Cheremisinoff, 1979)
9. Dépression (Cheremisinoff, 1979)
10. Saignements du nez et des gencives, pétéchies, purpura, ménorrhagie (Sax, 1981)
11. Confusion (Sax, 1979)
12. Indice de couleur élevé (Sax, 1981)
13. Induction de l'activité enzymatique au niveau des membranes (Patty, 1981)
14. Anomalies sanguines, notamment pancytopénie, hémolyse des hématies, anémie aplasique, diminution de l'hémoblogine, activité fonctionnelle des plaquettes anormale, macrocytose, réticulocytose, augmentation du volume globulaire moyen, hyperbilirubinémie, leucémie, éosinophilie, basophilie, monocytose et effets hyperplasiques sur la moelle osseuse (Cheremisinoff, 1979; NIOSH, 1974; Patty, 1981; Sax, 1979)
15. Splénomégalie, augmentation de volume d'une ou des deux glandes surrénales
16. Aberrations chromosomiques (Cheremisinoff, 1979)
17. Arrêt respiratoire (Patty, 1981)
18. Convulsions (Cheremisinoff, 1979)
19. Paralysie (Cheremisinoff, 1979)
20. Perte de connaissance (Cheremisinoff, 1979)
21. Mort (Cheremisinoff, 1979)

7.5.2 Ingestion

1. Étourdissements (Goodman, 1980)
2. Faiblesse (Goodman, 1980)
3. Maux de tête (Goodman, 1980)
4. Euphorie (Goodman, 1980)
5. Vision brouillée (Goodman, 1980)
6. Irritation des muqueuses de la bouche, de la gorge, de l'oesophage et de l'estomac (NIOSH, 1974)
7. Nausées (Goodman, 1980)
8. Vomissements (Goodman, 1980)
9. Tremblements (Goodman, 1980)
10. Oppression (Goodman, 1980)
11. Respiration peu profonde et rapide (Goodman, 1980)
12. Pneumonie (NIOSH, 1974)
13. Bronchite (NIOSH, 1974)
14. Irrégularités ventriculaires (Goodman, 1980)
15. Paralysie (Goodman, 1980)
16. Perte de connaissance (Goodman, 1980)
17. Mort (Cheremisinoff, 1979)

7.5.3 Contact avec la peau

1. Érythème, ampoules et dermite squameuse (Cheremisinoff, 1979)
2. L'absorption peut causer des symptômes semblables à ceux de l'inhalation (AAR, 1981)

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Irritation (Cheremisinoff, 1979)

7.6 Toxicité des produits de décomposition ou de combustion pour l'homme

La combustion de benzène libère du monoxyde de carbone et du dioxyde de carbone (AAR, 1981).

7.6.1 Monoxyde et dioxyde de carbone

Le monoxyde de carbone est un asphyxiant chimique incolore et pratiquement inodore. Il cause de l'hypoxémie en se combinant avec l'hémoglobine. Aussi longtemps que l'hémoglobine est liée au CO, elle est incapable de remplir sa fonction respiratoire, c'est-à-dire le transport d'oxygène vers les tissus. Une exposition prolongée cause la mort par asphyxie. Des expositions plus modérées peuvent causer des maux de tête et affecter les facultés mentales. Si l'exposition n'est pas trop prolongée, les effets nocifs sont réversibles, mais la dissociation de la carboxyhémoglobine s'opère très lentement. La TLV® du monoxyde de carbone est de 50 ppm (8 h – MPT) et de 400 ppm (STEL) (Doc. TLV, 1981).

Le dioxyde de carbone est un gaz incolore et inodore qui, à des teneurs élevées, peut avoir de légers effets narcotiques, accélérer le rythme respiratoire et provoquer une asphyxie. La TLV® du dioxyde de carbone est de 5000 ppm (8 h –MPT) et de 15 000 ppm (STEL) (Doc. TLV, 1981).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre le benzène et divers produits chimiques

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Caractéristiques	Sources
En général														
Chaleur	•												Très inflammable	Sax, 1979
Incendie	•	•											Risque modéré d'explosion si les vapeurs sont en contact avec la flamme	Sax, 1979
Produits chimiques														
Acide nitrique		•											Le benzène en combustion détone au contact de l'acide nitrique concentré	Bretherick, 1979
Anhydride chromique	•													NFPA, 1978
Chlore		•											Explose par amorçage à la lumière	NFPA, 1978
Diborane	•	•												Bretherick, 1979
Hexafluorure d'uranium										•				Bretherick, 1979
Oxygène (liquide)		•												NFPA, 1978
Ozone		•				•							Forme des acides formique, acétique, oxalique et d'autres acides ainsi qu'un explosif appelé ozobenzène	NFPA, 1978
Pentafluorure de brome	•	•												NFPA, 1978
Pentafluorure d'iode										•				Bretherick, 1978
Perchlorate d'argent		•												NFPA, 1978
Perchlorate de nitrile		•											Réagit en produisant une faible explosion et un éclair	NFPA, 1978

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Caractéristiques	Sources
Peroxyde de potassium		•											S'enflamme spontanément	NFPA, 1978
Peroxyde de sodium		•											S'enflamme spontanément	NFPA, 1978
Trifluorure de chlore			•										Peut provoquer une réaction explosive	NFPA, 1978
Groupe de produits chimiques														
Agents oxydants forts	•	•								•				EPA-600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les mesures décrites dans la présente section, qui semblent s'appliquer à la plupart des situations, sont reprises d'ouvrages déjà publiés. Pour éviter d'en fausser le sens, la formulation originale a été conservée, malgré certaines contradictions entre les différentes sources. Les mesures décrites ne doivent pas être considérées comme recommandées par Environnement Canada.

9.1.1 **Risques d'incendie.** – Le benzène est un liquide inflammable, pouvant former avec l'air des mélanges explosifs. Les vapeurs de benzène peuvent parcourir des distances considérables le long des surfaces jusqu'à des sources distantes d'allumage, puis causer un retour de flamme (ANPI 1978, GE 1978). Le benzène réagit vigoureusement avec des oxydants forts comme l'ozone, le permanganate, les acides sulfurique et nitrique et les peroxydes de potassium et de sodium. Le benzène chauffé présente des risques d'incendie et d'explosion encore plus élevés. Son oxydation dans l'air produit des oxydes de carbone et d'azote (GE, 1978).

9.1.2 **Moyens d'extinction.** – Refroidir les récipients touchés par le feu en les pulvérisant d'eau pour prévenir la rupture des parois. L'eau n'est pas toujours efficace pour éteindre le feu (ANPI 1978, GE 1978).
Petit feu: poudre sèche, CO_2, mousse, eau pulvérisée.
Grand feu: eau pulvérisée ou mousse.

Éloigner les récipients de la zone d'incendie si cela peut être fait sans danger. Se tenir à l'écart des extrémités des réservoirs. En cas d'incendie grave sur les lieux mêmes du chargement, utiliser des lances sur affût ou des lances-tourelles (ERG, 1980).

9.1.3 **Mesures d'intervention en cas de déversements accidentels**

9.1.3.1 **Information générale.** – Arrêter l'écoulement du produit si cela ne présente aucun risque. Éliminer toute source d'inflammation. Pulvériser de l'eau pour réduire la quantité de vapeurs (ERG, 1980). Éviter tout contact avec la peau et éviter d'inhaler (GE, 1978). La mousse de fluorocarbure et d'eau peut aussi servir pour réduire les vapeurs et noircir les surfaces embrasées (EPA 670/2-75-042).

Les récipients perforés doivent être transportés à l'extérieur ou dans un endroit éloigné et bien ventilé, et leur contenu doit être transvasé dans d'autres récipients appropriés (MCA, 1960).

Les matières recommandées pour obturer les perforations sont le polyester (sacs pour ordures ménagères) et le polyester d'imide (EPA 600/2-76-300). Certaines autres matières peuvent être utilisées pour obturer les fuites; ce sont la mousse d'uréthane Stafoam et la pâte de résine époxyde à l'épreuve de l'eau de mer et l'uréthane MSA (EPA 68-01-0106).

Pour éliminer les vapeurs ou confiner les nappes de benzène, on peut utiliser les matières absorbantes suivantes: Cellosize et Hycar (ICI, 1982).

9.1.3.2 **Déversements sur le sol.** – Dans la mesure du possible, confiner les nappes, puis enlever le liquide demeuré en surface en utilisant un équipement antidéflagrant, éponger le

résidu avec du sable, de la terre ou de la vermiculite, puis ramasser à la pelle ces matières imbibées et déposer dans des récipients métalliques munis d'un couvercle avant de les mettre au rebut (ERG 1980, GE 1978). L'épandage de cendres volantes ou de ciment en poudre pour absorber le gros du liquide peut être envisagé. Un agent universel de gélification peut également être appliqué pour immobiliser la nappe (EPA 670/2-75-042). La paille peut également être utilisée pour absorber le liquide (OHM-TADS, 1981).

9.1.3.3 **Déversements dans l'eau.** – Dans la mesure du possible, confiner la nappe au moyen de barrages flottants ou d'obstacles naturels pour éviter qu'elle ne s'étale. Utiliser des agents tensio-actifs avant de refouler la nappe pour l'épaissir. Enlever le liquide piégé à l'aide de boyaux d'aspiration (EPA 670/2-75-042). La paille peut également être utilisée pour absorber le liquide déversé (OHM-TADS, 1981).

9.1.4 **Nettoyage et traitement**

9.1.4.1 **Déversements sur le sol.** – Une fois que la nappe a été confinée en un lieu, elle peut être enlevée avec des appareils d'écumage, des mousses sorbantes ou de la paille. On peut aussi se servir d'un collecteur comme ceux dont ont se sert pour le pétrole. On peut épandre du charbon actif sur la portion dissoute. Enlever ensuite le benzène piégé pour l'élimination (OHM-TADS 1981, CG-D-38-76).

9.1.4.2 **Déversements dans l'eau.** – Une fois que la nappe a été confinée au moyen des barrages flottants, un équipement d'écumage, des résines synthétiques sorbantes ou de la paille peuvent être utilisés pour éponger le benzène (OHM-TADS, 1981). On peut également injecter un agent universel de gélification pour solidifier le liquide piégé. Du charbon actif peut être épandu à raison de 10 p. 100 du benzène déversé sur la zone où la teneur en benzène atteint au moins 10 mg/l. Des dispositifs de draguage ou de levage peuvent être utilisés pour enlever les nappes de polluant immobilisées (EPA 670/2-75-042). On peut aussi utiliser un collecteur pour enlever la nappe de benzène (CG-D-38-76).

9.1.4.3 **Information générale.** – Pour traiter l'eau polluée, il est recommandé de séparer par gravité les matières solides puis d'écumer la surface pour enlever le liquide déversé. Si l'écumage ne suffit pas, il est proposé d'utiliser la filtration sur deux milieux suivie de l'adsorption sur charbon. La proportion recommandée de charbon est de 1,0 kg pour 3,5 kg de matière soluble. L'eau de rinçage des appareils de filtration et d'adsorption est retournée dans le séparateur par gravité (EPA 600/2-77-227).

Les techniques de traitement suivantes peuvent être utilisées pour lutter contre les déversements :

Technique	% d'élimination (TSA, 1980)
Extraction biologique	90 – 100
Stripping	95 – 99
Extraction par solvant	97

Technique	% maximal d'élimination (EPA 600/8-80-042 E)
Clarification/sédimentation	56
Clarification/sédimentation avec addition de produits chimiques (alun, polymères)	> 97
Clarification/sédimentation avec addition de produits chimiques (alun, chaux)	50
Filtration sur milieu granuleux	> 99
Boues activées	> 99
Étang aéré	> 95
Étang anaérobie	50
Extraction par solvant	97
Adsorption sur charbon actif granuleux	> 80
Addition de charbon en poudre (avec boues activées)	95
Osmose inverse	80

9.1.5 **Élimination du polluant.** – Le benzène résiduaire ne doit jamais être évacué directement dans les égouts ou les eaux superficielles (MCA 1960, GE 1978). Il est recommandé d'incinérer le benzène ou de le faire éliminer par une entreprise autorisée à éliminer les solvants (GE, 1978). Les grandes quantités de benzène doivent être envoyées à une raffinerie pour être enfouies sous terre ou récupérées. Les petites quantités de benzène peut être mélangées avec du sable ou de la terre puis allumées (OHM-TADS, 1981).

Après traitement soit sur les lieux du déversement, soit dans une installation de traitement de déchets, les boues résiduaires peuvent être transportées jusqu'à un lieu d'enfouissement offrant toute sécurité.

9.1.6 **Données relatives à la filtration sur charbon.** – Le benzène peut être extrait de l'eau au moyen d'un lit de filtration au charbon pulvérisé à un étage, ou par adsorption sur une colonne de charbon granulaire; les données relatives à ces deux techniques ont été obtenues en utilisant la formule d'adsorption de Freundlich (EPA 600/8-80-023). Il a été traité de la dérivation de la formule dans le Manuel d'introduction.

Lit de filtration au charbon pulvérisé à un étage

Teneur initiale (mg/l)	Dosee de charbon (mg/l)	Teneur finale (mg/l)
1,0	35 000	0,1
1,0	> 100 000	0,01
0,1	> 100 000	0,001
0,1	> 100 000	0,01
0,1	> 100 000	0,001
0,01	> 100 000	0,001

Adsorption sur colonne de charbon granulé (estimation)

Teneur initiale (mg/l)	Doses de charbon nécessaires (mg/l)
1,0	980
0,1	4 000
0,01	14 000

Ces doses de charbon valent pour une eau à pH neutre.

9.1.7 **Mesures de protection.** – Avant d'entrer dans une zone où ni la matière déversée ni ses propriétés ne sont connues, il est essentiel de se munir d'un appareil respiratoire autonome et de revêtir une combinaison entièrement étanche aux produits chimiques.

Si la matière déversée est du benzène, il faut: a) porter des lunettes de protection dans les endroits où les éclaboussures risquent d'atteindre les yeux, et des visières d'au moins 8 pouces de longueur dans les endroits où il y a risque de contact du benzène avec l'épiderme; b) enlever immédiatement et laver les vêtements non imperméables éclaboussés de benzène avant de les réutiliser; c) porter des bottes et des tabliers, des gants et des manchettes imperméables dans les endroits où le contact du benzène avec la peau est inévitable; d) avoir recours aux matériaux imperméables comme le néoprène (GE, 1978); e) prévoir des postes de lavage des yeux et des douches de sécurité d'accès facile dans les lieux où des déversements peuvent se produire. Voici une liste des éléments de protection minimale des voies respiratoires recommandés pour le personnel travaillant en présence de benzène (Cheremisinoff, 1979).

Teneur en benzène ou situation particulière	Protection des voies respiratoires pour des teneurs en benzène de plus de 1 ppm
⩽ 10 ppm	Masque bucco-nasal muni d'une cartouche de produits chimiques anti-vapeurs organiques. Tout appareil à adduction d'air et masque bucco-nasal.
⩽ 50 ppm	Masque complet muni d'une cartouche de produits chimiques anti-vapeurs organiques. Tout appareil à adduction d'air et masque complet. Tout masque à gaz avec dispositif anti-vapeurs organiques. Tout appareil respiratoire autonome et masque complet.
⩽ 1000 ppm	Appareil à adduction d'air à la pression super-atmosphérique et masque bucco-nasal.
⩽ 2000 ppm	Appareil à adduction d'air à la pression super-atmosphérique et masque complet ou cagoule.
⩽ 10 000 ppm	Ensemble comprenant un appareil à adduction d'air et un appareil respiratoire autonome auxiliaire à la pression super-atmosphérique et masque complet. Appareil respiratoire à contact, à la pression super-atmosphérique, et masque complet.

Lutte contre l'incendie ou teneurs inconnues	Appareil respiratoire autonome à contact, à la pression super-atmosphérique, et masque complet.
Évacuation des lieux seulement	Tout masque à gaz anti-vapeur organiques. Tout appareil respiratoire autonome et masque complet.

9.1.8 **Précautions spéciales.** – Entreposer les récipients loin des sources de chaleur et d'allumage et des agents oxydants (GE, 1978).

9.2 Équipements, matériel et techniques spécialisés d'intervention

La liste qui suit est extraite d'une étude antérieure (Dillon, 1982) et n'est pas exhaustive. On trouvera, dans l'étude citée, de plus amples détails sur les caractéristiques, la performance et la disponibilité de ces équipements et techniques.

Supression des vapeurs	Mousses National, Lorcon, Rockwood, 3M et MSA.
Récupération de matières flottant sur l'eau	Gélifiant au carbamate d'amine et dispositif d'application.
	Lockheed Clean Sweep (technique d'écumage Lockheed).
	Slickbar Slickskim Skimmers (dispositifs d'écumage de nappes).
Pompes à liquides	Pompes centrifuges Bell et Gossett (ITT).
Entreposage temporaire	Sacs collecteurs portatifs.
Élimination de la matière dans l'eau	Remorqueurs d'écumage physico-chimique de l'EPA.
Agents d'intervention	Hazorb (sorbant).
	Petro-trap (sorbant).
	Spill/Clean (gélifiant).

10 CAS DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS

Les informations relatives aux déversements accidentels antérieurs contenues dans la présente section aideront le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversements accidentels. Seuls les cas qui présentent un intérêt pour le lecteur sont inclus dans la présente section; en conséquence, le nombre de cas décrits ne traduit ni l'ampleur du problème ni la fréquence des déversements.

Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les révisions ultérieures du manuel, au fur et à mesure des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DES POLLUANTS

Les méthodes d'analyse utilisées pour le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)

11.1.1 Chromatographie en phase gazeuse (NISHP, 1977). – On peut doser le benzène par chromatographie en phase gazeuse (CPG), lorsqu'il est présent dans l'air à des teneurs comprises entre 13 et 51,8 ppm. C'est la technique actuellement la plus pratique pour identifier et doser de nombreux composés organiques volatils. Le temps de rétention ou indice de Kovats est utilisé pour identifier le composé mais la confirmation de sa présence exige l'utilisation de plusieurs colonnes, de détecteurs spéciaux, l'enrichissement de l'échantillon à l'aide du composant dont on soupçonne la présence ou l'utilisation combinée de la CPG et de la spectrométrie de masse (SM).

Un volume connu d'air est aspiré dans un tube d'échantillonnage en verre. Sa partie avant est garnie de 100 mg de charbon actif, séparé par une section de 2 mm de mousse d'uréthane d'une quantité de 50 mg de charbon contenue dans sa partie arrière. Un échantillon d'air de 10 litres est recommandé, mais cette quantité peut être moindre si la quantité de benzène présent est élevée. La charge maximale du tube est de 16 mg. L'échantillon est désorbé à l'aide de 1,0 ml de disulfure de carbone. L'efficacité de la désorption varie de 81 à 100 p. 100. Le dosage par CPG se fait à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme (DIF) en utilisant une colonne garnie de Porapak Q de 50 à 80 mesh. Une méthode alternative utilise une colonne garnie de 10 p. 100 de FFAP sur Chromosorb W DMCS lavé à l'acide, de 50 à 80 mesh (CCPA, 1982). En milieu très humide, la condensation de la vapeur d'eau diminue l'efficacité d'adsorption du charbon et la teneur en benzène peut sembler plus faible qu'elle ne l'est réellement. La perte d'une partie de l'échantillon par la surcharge de la colonne en charbon peut également donner des résultats inférieurs. L'un des avantages de cette méthode est qu'en cas de déversement d'un mélange de matières, deux ou plusieurs substances peuvent être dosées simultanément.

D'autres méthodes de prélèvement d'échantillons peuvent être utiles dans certaines circonstances. Un échantillon d'air de 1 litre peut être prélevé et une partie aliquote de 50 ml injectée dans un piège à froid à – 80 °C, garni de Dow-Corning SF200 à 20 p. 100 sur Columpak de 60 à 80 mesh. Le benzène est libéré en chauffant le piège à 100 °C (Pilar, 1973).

Il est également possible d'aspirer l'échantillon dans un tube d'adsorption garni de 300 mg de Porapak Q de 80 à 100 mesh. L'échantillon est désorbé thermiquement à 250 °C directement dans le chromatographe en phase gazeuse (Baxter, 1980). Les avantages de ces méthodes sont, notamment, la simplification de la préparation de l'échantillon et l'élimination de l'interférence du solvant sur le chromatogramme.

Il est également possible d'utiliser des colonnes garnies de Carbowax à 10 p. 100 sur du Chromosorb W de granulométrie 80/100 (ASTM, 1981) de 1, 2, 3-tris (2-cyanéthoxy) propane à 10 p. 100 sur Chromosorb PAW de 100 à 200 mesh (Hester, 1979), d'OV-101 (ou de SE-30) à 1 p. 100 sur Chromosorb W de 100 à 200 mesh (Jones, 1976; IERL, 1976) et de N, N-bis-2-cyanoéthylformamide à 30 p. 100 sur support rose de 80 à 100 mesh (Baxter, 1980).

L'utilisation d'un détecteur à ionisation de flamme (DIF) permet de détecter des teneurs inférieures à 10^{-9} sans préconcentration ou piégeage. Il peut devenir nécessaire de diluer l'échantillon si l'analyse par CPG-DPI se fait dans une unité mobile sur les lieux de l'accident, là où la teneur risque de dépasser la plage du détecteur (Hester, 1979). Les détecteurs à absorption d'infrarouge utilisant comme source des lasers à monoxyde ou dioxyde de carbone ont une limite de détection de 3×10^{-9} de benzène (Kreusev, 1972).

11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)

L'air est aspiré dans un tube en verre comme il est indiqué à la section 11.1.1. L'échantillon est désorbé avec du chloroforme et identifié par la réaction d'alkylation de Friedel et Crafts. On introduit 100 mg environ de chlorure d'aluminium anhydre dans un tube à essais et on chauffe jusqu'à sublimation. Une fois qu'il a refroidi, on ajoute une goutte de l'extrait et deux gouttes de chloroforme, puis on agite. L'apparition d'une couleur rouge orangé indique la présence d'un noyau aromatique (Owen, 1969).

11.3 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyses quantitatives)

11.3.1 Chromatographie en phase gazeuse (ASTM, 1979). – On peut doser les teneurs en benzène supérieures à 1 ppm en injectant directement l'échantillon d'eau dans le chromatographe à phase gazeuse (CPG). C'est la meilleure technique pour identifier un produit déversé ou doser de faibles teneurs en benzène (voir 11.1.1).

On prélève un échantillon représentatif dans une bouteille de verre. L'analyse se fait par CPG, à l'acide de colonnes et de détecteurs décrits en 11.1.1. Si la teneur est inférieure à 1 ppm, on peut concentrer l'échantillon par évaporation, congélation, extraction par solvant ou adsorption sur charbon activé. Les échantillons très concentrés peuvent être dilués. On élimine les particules ou la matière en suspension par centrifugation ou par filtration sur membrane.

L'acidification de l'échantillon facilitera la dissolution des particules. La CPG est avantageuse dans le cas d'un déversement mixte, car on peut alors séparer et doser deux substances ou plus. On peut combiner la CPG et la spectrométrie de masse (SM) pour confirmer le contenu de l'échantillon.

11.3.2 **Spectroscopie de l'infrarouge** (AWWA, 1976). – On peut mesurer des teneurs en benzène comprises entre 4 et 40 ppm dans l'eau avec une précision de ± 10 p. 100 en utilisant des cuves de 1 cm de traversée.

Approximativement un litre d'eau est échantillonné. On détermine le volume avec précision, puis l'échantillon est acidifié avec de l'acide chlorhydrique. Le benzène est ensuite extrait en utilisant du fréon 113® (1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-trifluoro-éthane). Le rendement de l'extraction est de 99 p. 100. On utilise une cuve de quartz remplie de fréon 113® dans le faisceau de référence d'un spectrophotomètre enregistreur infrarouge (IR) à double faisceau, puis l'échantillon est balayé de 3200 cm^{-1} à 2700 cm^{-1}. L'avantage de cette technique, comparativement à d'autres qui requièrent le chauffage de l'échantillon, c'est que la perte par volatilisation est minimisée. La sensibilité obtenue est faible, mais suffisante dans le cas d'un déversement. Elle n'est pas spécifique, de sorte que l'identité du produit déversé doit être connue.

11.3.3 **Gravimétrie** (AWWA, 1976). – Cette technique convient dans le cas des teneurs de plus de 10 ppm. La précision est de ± 6 p. 100.

On recueille un titre d'échantillon, dont on détermine le volume avec précision, puis on l'acédifie avec de l'acide chlorhydrique. Le benzène est extrait au moyen de fréon 113® (1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-trifluoroéthane). Le taux d'extraction s'élève à 99 p. 100. Le fréon est distillé dans le flacon d'extraction placé au bain-marie à 70 °C. Il peut se produire des pertes si la température n'est pas soigneusement maintenue. On fait passer de l'air dans le flaçon pendant la dernière minute pour éliminer toute trace de fréon. On refroidit le flacon, puis on le pèse. Il s'agit d'une technique simple, économique, qui n'exige aucun appareil compliqué. Elle n'est pas très sensible, ni particulièrement spécifique, mais elle convient dans les cas de déversements accidentels de matières connues.

11.4 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative)

On extrait au chloroforme l'échantillon d'eau, puis on utilise la réaction d'alkylation de Friedel et Crafts pour identifier les hydrocarbures aromatiques. On introduit 100 mg environ de chlorure d'aluminium anhydre dans un tube à essais, puis on le chauffe jusqu'à sublimation. Lorsqu'il s'est refroidi, on ajoute une goutte de l'extrait et deux gouttes de chloroforme, en agitant. L'apparition d'une couleur rouge orangé indique la présence d'un composé aromatique cyclique (Owen, 1969).

La spectroscopie de l'infrarouge décrite en 11.3.2 peut servir à identifier le produit de façon qualitative par observation de la présence de bandes d'absorption entre 3200 cm^{-1} et 2700 cm^{-1} (AWWA, 1976).

11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyses quantitatives)

11.5.1 Chromatographie en phase gazeuse (NIOSH, 1977; ASTM, 1979). – On peut détecter des teneurs en benzène de l'ordre du ppm (10^{-6}) grâce à un détecteur à ionisation de flamme. La limite de détection peut être étendue jusqu'à 10^{-9} lorsqu'on utilise un détecteur à photo-ionisation ou un détecteur infrarouge comme ceux qui sont décrits en 11.1.1.

On introduit dans un flacon de verre 20 g de sol, pesé avec précision, que l'on sèche en ajoutant du sulfate de magnésium. On utilise du fréon (1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-trifluoroéthane) pour extraire le benzène du sol. Le fréon est distillé dans le flacon placé au bain-marie à 70 °C. Il peut se produire des pertes d'échantillon si la température n'est pas maintenue constante. On fait passer de l'air dans le flacon pendant la dernière minute pour éliminer toute trace de fréon. On dissout le résidu dans du sulfure de carbone, puis, on injecte la solution dans un chromatographe à phase gazeuse pourvu d'une colonne et d'un détecteur comme ceux qui sont décrits en 11.1.1. C'est la technique par excellence pour identifier une matière déversée ou pour déceler de faibles teneurs en benzène.

11.5.2 Spectroscopie de l'infrarouge (AWWA, 1976). – On peut mesurer des teneurs en benzène allant de 4 à 40 ppm dans le sol au moyen de cuves de 1 cm de traversée.

On introduit dans un flacon de verre 20 g de sol, pesé avec précision, qu'on sèche en ajoutant du sulfate de magnésium. Le fréon 113® (1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-triofluoroéthane) sert à extraire le benzène du sol. Après avoir placé des cuves de quartz contenant du fréon dans le faisceau de référence d'un spectrophotomètre enregistreur IR à double faisceau, on balaie les échantillons de 3200 cm^{-1} à 2700 cm^{-1}. Cette technique est simple et économique. Elle n'est pas très sensible, mais elle convient dans le cas de déversements de produits de composition connue.

11.5.3 Gravimétrie (AWWA). – On utilise la gravimétrie pour détecter des teneurs en benzène du sol supérieures à 10 ppm.

On introduit 20 g de sol, pesé avec précision, dans un flacon de verre, puis on les sèche en utilisant du sulfate de magnésium. On utilise le fréon 113® (1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-triofluoroéthane) pour extraire du sulfate de magnésium. On utilise le fréon 113® (1, 1, 2-trichloro-1, 1, 2-trifluoroéthane) pour extraire le benzène qu'on distille dans un flacon placé au bain-marie. Il faut maintenir la température à 70 °C pour éviter les pertes d'échantillon. On fait passer de l'air dans le flacon pendant la dernière minute. Ce dernier est ensuite refroidi et pesé. La technique est simple et économique. Elle manque de sensibilité et de spécificité, mais elle convient dans le cas du déversement d'un produit dont la composition est connue.

11.6 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative)

La réaction d'alkylation de Friedel et Crafts sert à identifier les hydrocarbures aromatiques. On extrait un échantillon de sol au moyen de fréon 113® (1, 1, 2-trichloro-1, 2, 2-triofluoroéthane), puis on évapore le fréon de la manière indiquée en 11.5.3. Le résidu est placé dans le chloroforme. On introduit dans un tube à essais 100 mg de chlorure d'aluminium anhydre qu'on chauffe jusqu'à sublimation. Une fois qu'il s'est refroidi, on ajoute plusieurs gouttes du chloroforme contenant le résidu, en agitant. L'apparition d'une couleur rouge orangé indique la présence d'un composé aromatique cyclique (Owen, 1969).

La spectroscopie de l'infrarouge (IR) décrite en 11.5.2 peut être utilisée pour détecter le benzène de façon qualitative par observation de bandes d'absorption entre 3200 cm^{-1} et 2700 cm^{-1} (AWWA, 1976).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE*

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, Virginia. (May, 1981).

API 1977: Laskin, S., Goldstein, B.D. (eds.), Benzene Toxicity: A Critical Evaluation, (Sponsored by American Petroleum Institute) Hemisphere Publishing, Washington, D.C. (1977).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, D2908-74, D1192-70, D3370. (1979).

ASTM 1981: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 26: Gaseous Fuels; Coal and Coke; Atmospheric Analysis, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, D3687-78. (1981).

AWQC 1978: Environmental Protection Agency, Ambient Water Quality Criteria: Benzene, U.S. Environmental Protection Agency, Criteria Standards Division, Washington, D.C., PB-292-421. (1978).

AWWA 1976: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., pp. 515-521. (1976).

Baxter 1980: Baxter, H.G., Blakemore, R., Moore, J.P., "The Measurement of Airborne Benzene Vapour", Ann. Occup. Hyg., Vol. 23, p. 117. (1980).

Blokker 1971: Blokker, P.C., Migration of Oil in Soil, Presented at International Conference "Antinquinamenta 71", Milan Fair of Anti-Pollution Equipment, Report No. 9/71, Milan, Italy. (November, 1971).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Bringmann 1980: Bringmann, G., Kuehn, R., "Comparison of the Toxicity Thresholds of Water Pollutants to Bacteria, Algae, and Protozoa in the Cell Multiplication Inhibition Test", Water Research, Vol. 14, p. 241. (1980).

Brown 1978: Brown, R.A., Weiss, F.T., Fate and Effects of Poly-nuclear Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment, American Petroleum Institute, Washington, D.C. (September, 1978).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

* Listes reproduites de l'édition anglaise

CCD 1977: Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, Ninth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1977).

CCP 1980: "AERCB Nod for Benzene Plan," Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 7, p. 10. (15 October 1980).

CCP 1981: "A Cornerstone Based on Crude", Canadian Chemical Processing, Vol. 65, No. 7, pp. 40-45. (October, 1981).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

CCPA 1982: The Canadian Chemical Producers' Association, Private Communication. (December, 1982).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, Texas. (1967).

CG-D-38-76: Bauer, W.H., Borton, D.N. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

Chem. Eng. 1975: Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties", Chemical Engineering, Vol. 82, No. 18, pp. 107-115. (1 September 1975).

Cheremisinoff 1979: Cheremisinoff, P.N., Morresi, A.C., Benzene - Basic and Hazardous Properties, Marcel Dekker Inc., New York, New York. (1979).

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-446-3. (April, 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, D.C., (1978).

Corpus 1982: Corpus Information Services Ltd., "Benzene", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (15 June 1982).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

CSC 1980: Canada Safety Council, Benzene Data Sheet F-4, CSC, Occupational Section, Ottawa, Canada. (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1978).

DHHS 1980: National Toxicology Program, First Annual Report on Carcinogens, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Washington, D.C. (1980).

DHHS 1981: National Toxicology Program, Second Annual Report on Carcinogens, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Washington, D.C. (1981).

Dillon 1982: M.M. Dillon, Ltd., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada. (1982).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1981).

Doull 1980: Doull, J., Klaassen, C.D., Amdur, M.O., Casarett's and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons, Second Edition, Collier Macmillan Canada Inc., Toronto, Ontario. (1980).

Dow ERIS 1981: Dow Chemical Canada Inc., Emergency Response Information Sheet, Sarnia, Ontario. (1981).

Dow PPS 1972: Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, Michigan, Brochure 178-102-72. (1972).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

EPA 12020: Environmental Protection Agency, The Effects of Chlorination on Selected Organic Chemicals, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 12020. (March, 1972).

EPA 440/9-75-009: Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

EPA 600/2-76-300: Vrolyk, J.J. et al., Prototype System for Plugging Leaks in Ruptured Containers, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 600/2-76-300. (December, 1976).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 660/2-77-227. (November, 1977).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. (April, 1980).

EPA 600/8-80-023: Dobbs, R.A., Cohen, J.M., Carbon Adsorption Isotherms for Toxic Organics, U.S. Environmental Protection Agency, Waste Water Research Division, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, EPA 600/8-80-023. (April, 1978).

EPA 600/8-80-042E: Environmental Protection Agency, Treatability Manual, Volume V, Summary, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, D.C., EPA 600/8-80-042E. (July, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

EPA 68-01-0106: Mitchell, R.C. et al., Feasibility of Plastic Foam Plugs for Sealing Leaking Chemical Containers, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 68-01-0106. (May, 1973).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

Fed. Reg. 1980: Environmental Protection Agency, "National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants; Benzene Emissions from Ethylbenzene/Styrene Plants", Federal Register, Vol. 45, No. 245, pp. 83448-83463. (1980).

Finachem ASPI 1979: Finachem Canada Inc., Aromatic Solvents Product Information, Montreal, Quebec. (September, 1979).

Finachem PDS 1981: Finachem Canada Inc., Benzene Production Data Sheet, Montreal, Quebec. (1981).

Freeze and Cherry 1979: Freeze, R.A., Cherry, J.A., Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. (1979).

GE 1978: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (November, 1978).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

Globe 1982: Becker, J., "Petrochemical Industry Suffers Sharp Setback", The Globe and Mail, Toronto, Ontario. (23 April 1982).

Goodman 1980: Goodman, L.S., Gilman, A., Goodman and Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics, Sixth Edition, MacMillan Publishing, New York, New York. (1980).

GPP: Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

Gulf 1981: Gulf Canada Limited, Health Hazard Memo No. 95, Toronto, Ontario. (August, 1981).

Hester 1979: Hester, N.E., Meyer, R.A., "A Sensitive Technique for Measurement of Benzene and Alkylbenzenes in Air", Environ. Sci. Technol., Vol. 13, No. 1, p. 107. (1979).

ICI 1982: Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England. (April, 1982).

IERL 1976: Environmental Protection Agency, TRW Systems Group, IERL-RTP Procedures Manual: Level of Environmental Assessment, Washington, D.C., EPA 600-2-76-160a. (June, 1976).

Johnson 1980: Johnson, W.W., Finley, M.T., Handbook of Acute Toxicity of Chemicals to Fish and Aquatic Invertebrates, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., p. 81. (1980).

Jones 1976: Jones, P.W. et al., Technical Manual for Analysis of Organic Materials in Process Streams, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio. (January, 1976).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York. (1979).

Juhnke 1978: Juhnke, I., Luedemann, D., "Results of the Study of 200 Chemical Compounds on Acute Fish Toxicity Using the Golden Orfe Test", Z. Wasser Abwasser Forsch., Vol. 11, No. 5, pp. 161-164. (1978).

Kirk-Othmer 1978: Grayson, M., Eckroth, D. (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 3, John Wiley & Sons Inc., New York, New York. (1978).

Kreuzer 1972: Kreuzer, L.B., Kenyon, N.D., Patel, C.K.N., "Air Pollution: Sensitive Detection of Ten Pollutant Gases by Carbon Monoxide and Carbon Dioxide Lazers", Science, Vol. 177, p. 377. (1972).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1979).

Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents -For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson and Ross Inc., Pennsylvania. (1980).

Little: Arthur D. Little Inc., Research on Chemical Odours: Part 1 - Odour Thresholds for 53 Commercial Chemicals, Manufacturing Chemists Association, Washington, D.C. Not dated.

MacKay and Walkoff 1973: MacKay, D., Walkoff, R.W., "Rate of Evaporation of Low Solubility Contaminants from Water Bodies to Atmosphere", Environ. Sci. Technol., Vol. 7, No. 7. (July, 1973).

MCA 1960: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, D.C. (1960).

MOE 1978: United Technology and Science Inc., Environmental Aspects of Selected Aromatic Hydrocarbons in Ontario: A Comprehensive Background Report, Vol. II, Air Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (1978).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachusetts. (1978).

NIOSH 1974: National Institute of Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Benzene, NIOSH 74-137, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio. (1974).

NIOSH 1977: National Institute of Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 2, S. 29., Cincinnati, Ohio. (April, 1977).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, United States Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

NRC 1981: U.S. National Research Council, The Alkyl Benzenes, Committee on Alkyl Benzene Derivatives, Board on Toxicology and Environmental Health Hazards, Assemble of Life Sciences, National Academy Press, Washington, D.C. (1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

OML 1981: Ontario Ministry of Labour, Occupational and Safety Division, Exposure Criteria for Potentially Harmful Agents and Substances in Workplaces, Toronto, Ontario. (15 May 1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Owen 1969: Owen, T.C., Characterization of Organic Compounds by Chemical Methods, Marcel Dekker, Inc., New York, New York, p. 67. (1969).

Patty 1981: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (eds.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

Perry 1973: Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1973).

Pickering 1966: Pickering, O.H., Henderson, C., "Acute Toxicity of Some Important Petrochemicals to Fish", Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 38, No. 9, pp. 1419-1429. (1966).

Pilar 1973: Pilar, S., Graydon, W.F., "Benzene and Toluene Distribution in Toronto Atmosphere", Environ. Sci. Technol., Vol. 7, p. 628. (1973).

Price, Waggy 1974: Price, K.S., Waggy, G.T., Conway, R.A., "Brine Shrimp Bioassay and Seawater B.O.D. of Petrochemicals", Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 16, No. 1. (January, 1974).

PTP 1980: Sittig, M. (ed.), Priority Toxic Pollutants, Health Impacts and Allowable Limits, Noyes Data Corp., New Jersey, pp. 87-90. (1980).

Raj 1974: Raj, P.P.K., Lakekar, A.S., Assessment Models in Support of Hazard Assessment Handbook, Arthur D. Little Inc., Cambridge, Massachusetts, Department of Transportation, U.S. Coast Guard. (January, 1974).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1977).

RTDCR 1974: "Regulations for the Transport of Dangerous Commodities by Rail", Canadian Transport Commission, Ottawa, Ontario. (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

Ryckman 1966: Ryckman, A.W., Prabhakava Rho, A.V.S., Buzzell, J.C. Jr., Behaviour of Organic Chemicals in the Aquatic Environment, Manufacturing Chemists Association, Washington, D.C. (1966).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1979).

Sax 1981: Sax, N.I., Cancer Causing Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. 1981.

Shreve 1977: Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1977).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1971).

Struhsaker 1974: Struhsaker, J.W., Eldridge, M.B., Echeverria, T., "Effects of Benzene (A Water Soluble Component of Crude Oil) on Eggs and Larvae of Pacific Herring and Northern Anchovy", IN Pollution and Physiology of Marine Organisms, Vernberg, F.J. and Vernberg, W.B. (eds.), Academic Press Inc., New York, New York, pp. 253-283. (1974).

Sullivan 1969: Sullivan, R.J., Air Pollution Aspects of Odourous Compounds, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C. (1969).

Sussex 1977: Pedley, J.B., Rylance, J., Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England. (1977).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

Texaco MSDS: Texaco Canada Inc., Material Safety Data Sheet, Don Mills, Ontario. Not dated.

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV*s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983, Cincinnati, Ohio. (1983).

TMAE 1978: Oregon State University, Corvallis Water Resources Research Institute, Toxic Materials in the Aquatic Environment, Office of Water Research Technology, Washington, D.C., PB-297-837, p. 107. (July, 1978).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

TSA 1980: Shuckrow, A.J., Pajak, A.P., Osheka, J.W., Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, Pennsylvania. (1980).

UNEP 1981: United Nations Environmental Program (UNEP), IRPTC Bulletin, Vol. 4, No. 2, pp. 18-19. (1981).

USDHEW 1967: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Air Pollution Abatement Manual, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW, Washington, D.C. (1967).

Verschueren 1977: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1977).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

WQC 1963: McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

WQCDB-1 1970: Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book, A.D. Little Inc., U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, D.C., Vol. 1, pp. 232, 313. (1970).

12.2 Bibliographie

"AERCB Nod for Benzene Plan", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 7, p. 10. (15 October 1980).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983, Cincinnati, Ohio. (1983).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 26: Gaseous Fuels; Coal and Coke; Atmospheric Analysis, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, D3687-78. (1981).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, D2908-74, D1192-70, D3370. (1979).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., pp. 515-521. (1976).

Arthur D. Little Inc., Research on Chemical Odours: Part 1 - Odour Thresholds for 53 Commercial Chemicals, Manufacturing Chemists Association, Washington, D.C. Not dated.

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

Bauer, W.H., Borton, D.N. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

Baxter, H.G., Blakemore, R., Moore, J.P., "The Measurement of Airborne Benzene Vapour", Ann. Occup. Hyg., Vol. 23, p. 117. (1980).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, Virginia. (May, 1981).

Becker, J., "Petrochemical Industry Suffers Sharp Setback", The Globe and Mail, Toronto, Ontario. (23 April 1982).

Blokker, P.C., Migration of Oil in Soil, Presented at International Conference "Antinquinamenta 71", Milan Fair of Anti-Pollution Equipment, Report No. 9/71, Milan, Italy. (November, 1971).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Bringmann, G., Kuehn, R., "Comparison of the Toxicity Thresholds of Water Pollutants to Bacteria, Algae, and Protozoa in the Cell Multiplication Inhibition Test", Water Research, Vol. 14, p. 241. (1980).

Brown, R.A., Weiss, F.T., Fate and Effects of Poly-nuclear Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment, American Petroleum Institute, Washington, D.C. (September, 1978).

Canada Safety Council, Benzene Data Sheet F-4, CSC, Occupational Section, Ottawa, Canada. (1980).

The Canadian Chemical Producer's Association, Private Communication. (December, 1982).

The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

Canadian Transport Commission, "Regulations for the Transport of Dangerous Commodities by Rail", Ottawa, Ontario. (1974).

Cheremisinoff, P.N., Morresi, A.C., Benzene - Basic and Hazardous Properties, Marcel Dekker Inc., New York, New York. (1979).

Clayton, G.D., Clayton, F.E. (eds.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1982).

"A Cornerstone Based on Crude", Canadian Chemical Processing, Vol. 65, No. 7, pp. 40-45. (October, 1981).

Corpus Information Services Ltd., "Benzene", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (15 June 1982).

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1979).

M.M. Dillon Ltd., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, U.S. Environment Canada, Ottawa, Canada. (1982).

Dobbs, R.A., Cohen, J.M., Carbon Adsorption Isotherms for Toxic Organics, U.S. Environmental Protection Agency, Waste Water Research Division, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, Ohio, EPA 600/8-80-023. (April, 1978).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Doull, J., Klaassen, C.D., Amdur, M.O., Casarett's and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons, Second Edition, Collier Macmillan Canada Inc., Toronto, Ontario. (1980).

Dow Chemical Canada Inc., Emergency Response Information Sheet, Sarnia, Ontario. (1981).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1978).

Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, Michigan, Brochure 178-102-72. (1972).

Environmental Protection Agency, "National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants; Benzene Emissions from Ethylbenzene/Styrene Plants", Federal Register, Vol. 45, No. 245, pp. 83448-83463. (1980).

Environmental Protection Agency, Ambient Water Quality Criteria: Benzene, U.S. Environmental Protection Agency, Criteria Standards Division, Washington, D.C., PB-292-421. (1978).

Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

Environmental Protection Agency, The Effects of Chlorination on Selected Organic Chemicals, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 12020. (March, 1972).

Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book, A.D. Little Inc., U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, D.C., Vol. 1, pp. 232, 313. (1970).

Environmental Protection Agency, Treatability Manual, Volume V, Summary, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research Development, Washington, D.C., EPA 600/8-80-042E. (July, 1980).

Finachem Canada Inc., Aromatic Solvents Product Information, Montreal, Quebec. (September, 1979).

Finachem Canada Inc., Benzene Production Data Sheet, Montreal, Quebec. (1981).

Freeze, R.A., Cherry, J.A., Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. (1979).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (November, 1978).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

Goodman, L.S., Gilman, A., Goodman and Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics, Sixth Edition, MacMillan Publishing, New York, New York. (1980).

Grayson, M., Eckroth, D. (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 3, John Wiley & Sons Inc., New York, New York. (1978).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

Gulf Canada Limited, Health Hazard Memo No. 95, Toronto, Ontario. (August, 1981).

Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. (April, 1980).

Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, Ninth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1977).

Hester, N.E., Meyer, R.A., "A Sensitive Technique for Measurement of Benzene and Alkylbenzenes in Air", Environ. Sci. Technol., Vol. 13, No. 1, p. 107. (1979).

Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 660/2-77-227. (November,1977).

Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England. (April, 1982).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York. (1979).

Johnson, W.W., Finley, M.T., Handbook of Acute Toxicity of Chemicals To Fish and Aquatic Invertebrates, U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D.C., p. 81. (1980).

Jones, P.W. et al., Technical Manual for Analysis of Organic Materials in Process Streams, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio. (January, 1976).

Juhnke, I., Luedemann, D., "Results of the Study of 200 Chemical Compounds on Acute Fish Toxicity Using the Golden Orfe Test", Z. Wasser Abwasser Forsch., Vol. 11, No. 5, pp. 161-164. (1978).

Kreuzer, L.B., Kenyon, N.D., Patel, C.K.N., "Air Pollution: Sensitive Detection of Ten Pollutant Gases by Carbon Monoxide and Carbon Dioxide Lazers", Science, Vol. 177, p. 377. (1972).

Laskin, S., Goldstein, B.D. (eds.), Benzene Toxicity: A Critical Evaluation, (Sponsored by American Petroleum Institute) Hemisphere Publishing, Washington, D.C. (1977).

Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Pennsylvania. (1980).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

MacKay, D., Walkoff, R.W., "Rate of Evaporation of Low Solubility Contaminants from Water Bodies to Atmosphere", Environ. Sci. Technol., Vol. 7, No. 7. (July, 1973).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, D.C. (1960).

McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

Mitchell, R.C. et al., Feasibility of Plastic Foam Plugs for Sealing Leaking Chemical Containers, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Centre, Cincinnati, Ohio, EPA 68-01-0106. (May, 1973).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, Texas. (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachusetts. (1978).

National Institute of Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Benzene, NIOSH 74-137, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio. (1974).

National Institute of Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 2, S. 29., Cincinnati, Ohio. (April, 1977).

National Toxicology Program, First Annual Report on Carcinogens, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Washington, D.C. (1980).

National Toxicology Program, Second Annual Report on Carcinogens, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Washington, D.C. (1981).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ontario Ministry of Labour, Occupational and Safety Division, Exposure Criteria for Potentially Harmful Agents and Substances in Workplaces, Toronto, Ontario. (15 May 1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Enviromental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Oregon State University, Corvallis Water Resources Research Institute, Toxic Materials in the Aquatic Environment, Office of Water Research Technology, Washington, D.C, PB-297-837, p. 107. (July, 1978).

Owen, T.C., Characterization of Organic Compounds by Chemical Methods, Marcel Dekker, Inc., New York, New York, p. 67. (1969).

Pedley, J.B., Rylance, J., Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England. (1977).

Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1973).

Pickering, O.H., Henderson, C., "Acute Toxicity of Some Important Petrochemicals to Fish", Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 38, No. 9, pp. 1419-1429. (1966).

Pilar, S., Graydon, W.F., "Benzene and Toluene Distribution in Toronto Atmosphere", Environ. Sci. Technol., Vol. 7, p. 628. (1973).

Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

Price, K.S., Waggy, G.T., Conway, R.A., "Brine Shrimp Bioassay and Seawater B.O.D. of Petrochemicals", Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 16, No. 1. (January, 1974).

Raj, P. P.K., Lakekar, A.S., Assessment Models in Support of Hazard Assessment Handbook, Arthur D. Little Inc., Cambridge, Massachusetts, Department of Transportation, U.S. Coast Guard. (January, 1974).

Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1977).

Ryckman, A.W., Prabhakava Rho, A.V.S., Buzzell, J.C. Jr., Behaviour of Organic Chemicals in the Aquatic Environment, Manufacturing Chemists Association, Washington, D.C. (1966).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1979).

Sax, N.I., Cancer Causing Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. 1981.

Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1977).

Shuckrow, A.J., Pajak, A.P., Osheka, J.W., Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, Pennsylvania. (1980).

Sittig, M. (ed.), Priority Toxic Pollutants, Health Impacts and Allowable Limits, Noyes Data Corp., New Jersey, pp. 87-90. (1980).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1971).

Struhsaker, J.W., Eldridge, M.B., Echeverria, T., "Effects of Benzene (A Water Soluble Component of Crude Oil) on Eggs and Larvae of Pacific Herring and Northern Anchovy", IN Pollution and Physiology of Marine Organisms, Vernberg, F.J. and Vernberg, W.B. (eds.), Academic Press Inc., New York, New York, pp. 253-283. (1974).

Sullivan, R.J., Air Pollution Aspects of Odourous Compounds, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C. (1969).

Texaco Canada Inc., Material Safety Data Sheet, Don Mills, Ontario. Not dated.

Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada. (June, 1980).

TRW Systems Group, IERL-RTP Procedures Manual: Level of Environmental Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. (June, 1976).

Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

United Nations Environmental Program (UNEP), IRPTC Bulletin, Vol. 4, No. 2, pp. 18-19. (1981).

United Technology and Science Inc., Environmental Aspects of Selected Aromatic Hydrocarbons in Ontario: A Comprehensive Background Report, Vol. II, Air Resources Branch, Ontario Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (1978).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, United States Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (1978).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Air Pollution Abatement Manual, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW, Washington, D.C. (1967).

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-446-3. (April, 1974).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, D.C. (1978).

U.S. National Research Council, The Alkyl Benzenes, Committee on Alkyl Benzene Derivatives, Board on Toxicology and Environmental Health Hazards, Assemble of Life Sciences, National Academy Press, Washington, D.C. (1981).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1977).

Vrolyk, J.J. et al., Prototype System for Plugging Leaks in Ruptured Containers, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 600/2-76-300. (December, 1976).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties", Chemical Engineering, Vol. 82, No. 18, pp. 107-115. (1 September 1975).